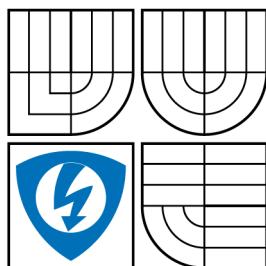


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## SYSTÉM PRO STABILIZACI TEPLoty

CONTROL SYSTEM FOR TEMPERATURE STABILIZATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PAVEL MALÝ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KADLEC, Ph.D.

BRNO 2008

Zadání co dostaneme

# LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Pavel Malý  
Bytem: Čajkovského 539/13, 67401, Třebíč - Nové Dvory  
Narozen/a (datum a místo): 11.6. 1985, Třebíč

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:  
Prof. Ing. Radimír Vrba, CSc.  
(dále jen „nabyvatel“)

## Článek 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
  - ☐ diplomová práce
  - ☒ bakalářská práce
- jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....  
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Systém pro stabilizaci teploty  
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jaroslav Kadlec, Ph.D.  
Ústav: Ústav mikroelektroniky  
Datum obhajoby VŠKP: 12. 6. 2008

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## **Článek 2**

### **Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
  - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
  - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
  - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
  - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## **Článek 3**

### **Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

## Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou, programovým vybavením a návrhem Systému pro stabilizaci teploty libovolného prostředí. Podmínkou při návrhu je využití Peltierova článku a námi zvoleného mikrokontroléru. Princip spočívá v nastavení teploty pomocí inkrementálního rotačního čidla (IRC) a řízení Peltierova článku za pomoci MOSFET tranzistorů. Zapojené tranzistory jsou označovány jako H-bridge, pomocí kterých ovládáme výkon již zmíněného Peltierova článku. Jádrem zapojení je mikrokontrolér, kde je vybrán typ mikrokontroléru od firmy ATMEL. Ten je označován jako ATmega16. Otázka programování je vyřešena pomocí rozhraní ISP (In System programming), které umožňuje programovat mikrokontrolér přímo v aplikaci. Veškeré hodnoty jsou zobrazovány na LCD displeji. Celé zapojení je napájeno adaptérem o hodnotě 5V.

## Abstract

This bachelor's thesis is engaged in problems, programming and proposal of Control system for temperature stabilization of any system. Main condition is using the Peltier's component and microcontroller. Principle consists in setting of temperatures by user controls and operating of Peltier's component through MOSFET semiconductors. These MOSFET's are designed to an H-bridge. We regulate power of Peltier's component by the H-bridge. Main part of the circuit is microcontroller from ATMEL. This is called ATmega16. It's programmed by ISP (In System Programming) property of microcontroller, which is necessary for programming of microcontrollers in applications. All measured and controlled values will be showed on the LCD display and should be supplied by the 5V power source.

## Klíčová slova:

Stabilizace teploty, Peltierův článek, mikrokontrolér ATmega16, inkrementální rotační čidlo (IRC), MOSFET tranzistory, H-bridge, ISP programování, LCD displej, napájení.

## Keywords:

Temperature stabilization, Peltier's component, microcontroller ATmega16, MOSFET semiconductors, H-Bridge, ISP programming, LCD display, power supply.

## Bibliografická citace:

MALÝ, P. *Systém pro stabilizaci teploty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kadlec, Ph.D.

## Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Systém pro stabilizaci teploty jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 30. 5. 2008

.....

Podpis autora

## Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Kadlecovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji Ing. Jiřímu Starému, Ph.D. za pomoc a poskytnutí laboratoře při výrobě desky plošných spojů.

V Brně dne 30. 5. 2008

.....

Podpis autora

**POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Autor: Pavel Malý

Název závěrečné práce: Systém pro stabilizaci teploty

Název závěrečné práce ENG: Control system for temperature stabilization

Anotace závěrečné práce: Tato bakalářská práce se zabývá problematikou, programovým vybavením a návrhem Systému pro stabilizaci teploty libovolného prostředí. Podmínkou při návrhu je využití Peltierova článku a námi zvoleného mikrokontroléru. Princip spočívá v nastavení teploty pomocí inkrementálního rotačního čidla (IRC) a řízení Peltierova článku za pomoci MOSFET tranzistorů. Zapojené tranzistory jsou označovány jako H-bridge, pomocí kterých ovládáme výkon již zmíněného Peltierova článku. Jádrem zapojení je mikrokontrolér, kde je vybrán typ mikrokontroléru od firmy ATMEL. Ten je označován jako ATmega16. Otázka programování je vyřešena pomocí rozhraní ISP (In System programming), které umožňuje programovat mikrokontrolér přímo v aplikaci. Veškeré hodnoty jsou zobrazovány na LCD displeji. Celé zapojení je napájeno adaptérem o hodnotě 5V.

Anotace závěrečné práce ENG: This bachelor's thesis is engaged in problems, programming and proposal of Control system for temperature stabilization of any system. Main condition is using the Peltier's component and microcontroller. Principle consists in setting of temperatures by user controls and operating of Peltier's component through MOSFET semiconductors. This MOSFET's are designed to an H-bridge. We regulate power of Peltier's component by the H-bridge. Main part of the circuit is microcontroller from ATMEL. This is called ATmega16. It's programmed



## POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

by ISP (In System Programming) property of microcontroller, which is necessary for programming of microcontrollers in applications. All measured and controlled values will be showed on the LCD display and should be supply by the 5V power source.

Klíčová slova: Stabilizace teploty, Peltierův článek, mikrokontrolér ATmega16, inkrementální rotační čidlo (IRC), MOSFET tranzistor, H-bridge, ISP programování, LCD displej, napájení.

Klíčová slova ENG: Temperature stabilization, Peltier's component, microcontroller ATmega16, MOSFET semiconductors, H-Bridge, ISP programming, LCD display, power supply.

Typ závěrečné práce: bakalářská práce

Datový formát elektronické verze: pdf

Jazyk závěrečné práce: čeština

Přidělovaný titul: Bc.

Vedoucí závěrečné práce: Ing. Jaroslav Kadlec, Ph.D.

Škola: Vysoké učení technické v Brně

Fakulta: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav / ateliér: Ústav mikroelektroniky

Studijní program: Elektrotechnika, elektronika, komunikační a řídicí technika

Studijní obor: Mikroelektronika a technologie



## Obsah:

<b>1.Úvod.....</b>	<b>13</b>
<b>2.Řešená problematika.....</b>	<b>14</b>
2.1 Mikrokontrolér ATmega16 .....	15
2.1.1 Rozdělení paměťového prostoru: .....	17
2.1.2 Programování mikrokontroléru ATmega16 .....	17
2.2 IRC (inkrementální rotační čidlo) .....	18
2.3 Peltierův článek .....	19
2.3.1 Vlastnosti vybraného článku .....	20
2.3.2 Napájení Peltierova článku.....	21
2.3.3 Ovládání Peltierova článku .....	22
2.3.4 Řízení H-Bridge .....	23
2.3.5 Rychlý PWM režim.....	24
2.4 Regulace .....	25
2.4.1 P - Proporcionální složka regulace .....	25
2.4.2 I - Integrační složka regulace .....	26
2.4.3 D - Derivační složka regulace .....	27
2.4.4 PID regulace .....	27
2.4.5 Ziegler-Nicholsonova metoda nastavení PID regulátoru .....	28
2.5 Teplotní čidlo LM35DT .....	29
2.5.1 A/D převodník.....	29
2.5.2 Kalibrace teplotního čidla LM35DT .....	31
2.6. LCD displej .....	32
2.6.1 Nastavení displeje .....	33
2.6.2 Popis řídicích bitů LCD displeje .....	33
2.7 Napájení zařízení.....	34
<b>3.Popis funkce zařízení .....</b>	<b>35</b>
<b>4.Výstupní naměřené hodnoty .....</b>	<b>36</b>
<b>5. Závěr.....</b>	<b>38</b>
<b>6. Seznam literatury .....</b>	<b>39</b>
<b>7. Seznam příloh .....</b>	<b>41</b>

## Seznam použitých obrázků

Obr. 1: Blokové schéma zařízení .....	13
Obr. 2: Rozložení vývodů pouzdra TQFP mikrokontroléru .....	16
Obr. 3: Vnitřní zjednodušená architektura mikrokontroléru .....	16
Obr. 4: Mapa vnitřní paměti u ATmega16. ....	17
Obr. 5: Schéma zapojení IRC čidla .....	18
Obr. 6: Průběhy IRC čidla .....	18
Obr. 7: Základní zapojení Peltierova článku .....	19
Obr. 8: Vnitřní struktura a uspořádání Peltierova článku .....	20
Obr. 9: Charakteristiky Peltierova článku (viz. [12]) .....	21
Obr. 10: Zapojení stabilizátoru(viz. [9]) .....	21
Obr. 11: Vnitřní zapojení obvodu IRF7434 (viz. [5]). ....	22
Obr. 12: Připojení řídicích bitů k procesoru .....	23
Obr. 13: Časový diagram rychlého PWM režimu .....	24
Obr. 15: Průběhy P regulátoru .....	26
Obr. 16: Správné nastavení konstant PID (viz. [18]) .....	27
Obr. 17: Vzorový zdrojový kód pro nastavení konstant .....	28
Obr. 18: Teplotní čidlo LM35DT .....	29
Obr. 19: Rozmístění vývodů A/D převodníku (viz. [14]) .....	29
Obr. 20: Průběhy k naprogramování A/D převodníku (viz. [14]) .....	30
Obr. 21: Připojení napěťové reference k A/D převodníku .....	30
Obr. 22: Kalibrační křivka teplotního čidla LM35DT .....	31
Obr. 23: Připojení LCD k portům mikrokontroléru .....	32
Obr. 25: Kmitání teploty - perioda .....	36
Obr. 26: Průběh ustálení teploty pro 23,7°C .....	37
Obr. 27: Průběh ustálení teploty pro 36,7°C .....	37

## Seznam tabulek

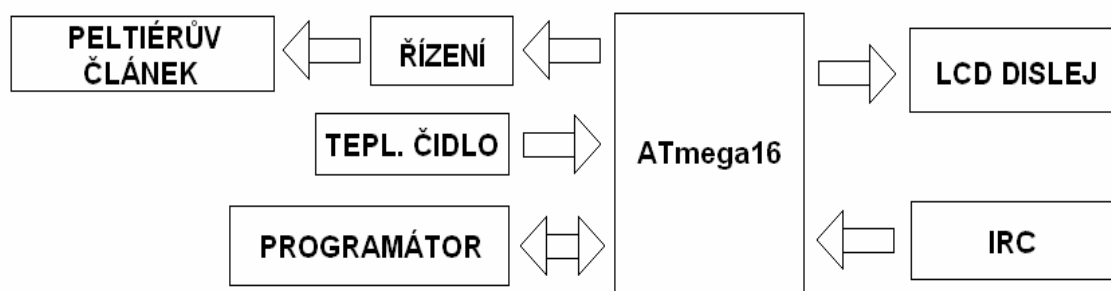
Tab. 1: Nastavení konstant regulátorů (viz [16] ) .....	28
Tab. 2: Naměřené teploty a hodnoty na výstupu A/D převodníku .....	31

# 1. Úvod

Cílem bakalářské práce je prostudovat, seznámit se, zkonstruovat zařízení a vytvořit programové vybavení s přesným názvem Systém pro stabilizaci teploty.

Práce je realizována pomocí mikrokontroléru, který vlastně řídí celý systém a Peltierova článku, který stabilizuje námi nastavenou teplotu. Jako mikrokontrolér je vybrán typ od firmy ATMEL s označením ATmega16, jenž nejvíce vyhovuje požadavkům, jako je například rychlost, PWM kanály, kde využijeme jeden kanál, pomocí kterého ovládáme výkon Peltierova článku. Dále má zabudovaný RC oscilátor, tudíž není nutno použít externí krystal, jako u většiny starších mikrokontrolérů. Paměť programu typu je Flash a má kapacitu 16KB. Každý mikrokontrolér je třeba nějakým způsobem programovat. Tento typ lze programovat přímo v zařízení. Což řešíme jednoduchým zapojením, kdy programujeme pomocí paralelního portu počítače (LPT). Zdrojový kód vytváříme v programovém rozhraní AVR studio4, které je též od výrobce ATMEL. Zařízení dále obsahuje nastavovací člen s nekonečným počtem otáček (IRC), pomocí něhož nastavíme teplotu určenou ke stabilizaci. Stabilizaci teploty provádíme pomocí již zmíněného Peltierova článku. Pomocí vhodně zvoleného teplotního čidla zjišťujeme zdali má stabilizace probíhat nadále, či je nastavená teplota stejná jako stabilizovaná. Všechny hodnoty jsou zobrazovány přehledně na LCD displeji s modrým textem a bílým podsvícením. Celé zařízení je napájeno síťovým adaptérem, který má na výstupu napětí 5V. Zařízení je kompletně nainstalováno v krabici s potiskem na horní straně.

Na blokovém schématu vidíme jednotlivé části jak jsou připojené k mikrokontroléru.



Obr. 1: Blokové schéma zařízení

## 2. Řešená problematika

Přesné zadání projektu je navrhnout a realizovat mikroprocesorem řízený systém pro teplotní stabilizaci libovolné soustavy pomocí Peltierova článku. Jedním z prvotních kroků je nastudovat literaturu o Peltierových článcích, vybrat vhodné součástky, kde je potřeba nastudovat jejich přesnou funkci, aby byla splněná veškerá zadaná kritéria. Požadavkem je stabilizace teploty na setiny stupně vhodným výběrem teplotního čidla a nastavením PID regulace. PID regulaci řešíme softwarově, jde totiž o konstanty, které lze naprogramovat v příslušném programovém prostředí. Setiny stupně vyřešíme vhodně zvoleným A/D převodníkem s referenčním napětím.

V bakalářské práci je použit mikrokontrolér firmy ATMEL ATmega16, který je téměř totožný s ATmega8, má však větší paměť, konkrétně 16 KB flash paměti. Mikrokontrolér programujeme pomocí ISP rozhraní přes LPT port počítače.

Pro zjištění teploty používáme teplotní čidlo LM35DT, které vyhovuje našim parametrům (teplotní rozsah) a podmínkám(provedení).

Jako nastavovací člen je zvoleno IRC (inkrementální rotační čidlo) s nekonečným počtem otáček a předem definovaným počtem kroků na otáčku. Pomocí něj nastavíme naši požadovanou teplotu, na níž chceme regulovat. Nastavení teploty se mění po desetině stupně.

Pro zobrazování veškerých informací je použit dvouřádkový LCD displej, na kterém lze zobrazit 16x2 znaků. Je možnost i podsvícení displeje, kterého využíváme pro lepší viditelnost zobrazených informací.

Celé zapojení je napájeno adaptérem 5V a je nainstalováno v plastové černé krabici s vrchním potiskem, který je zalaminován v průhledné fólii.

## ***2.1 Mikrokontrolér ATmega16***

Mikrokontrolér ATmega16 je nízkopříkonový 8-bitový mikrokontrolér založen na rozšířené architektuře AVR. Dosahuje takové početní výkony, které jsou typické pro 16-bitové mikrokontroléry. Obsahuje 44 pinů, které jsou rozděleny do čtyř 8-bitových vstupně/výstupních portů. Porty se označují PA až PD. Nevýhodou je omezený počet vývodů, kde je mnoho bitů portů sdíleno se zabudovanými periferiemi, kde pokud se rozhodneme používat určitou periferii, tak ztratíme příslušný port. Všechny porty mohou pracovat jako obousměrné s možností připojit/odpojit zabudované zvyšovací odpory. Výstupní proud jednoho portu je až 20mA, to znamená, že můžeme přímo připojit LED. Velikost napájení je v rozmezí +4,5V až +5V. My využijeme napájení +5V.

Mikrokontrolér obsahuje 32 registrů (R0 až R31) délky 8-bitů, které jsou zobrazovány přímo v adresovém prostoru dat.

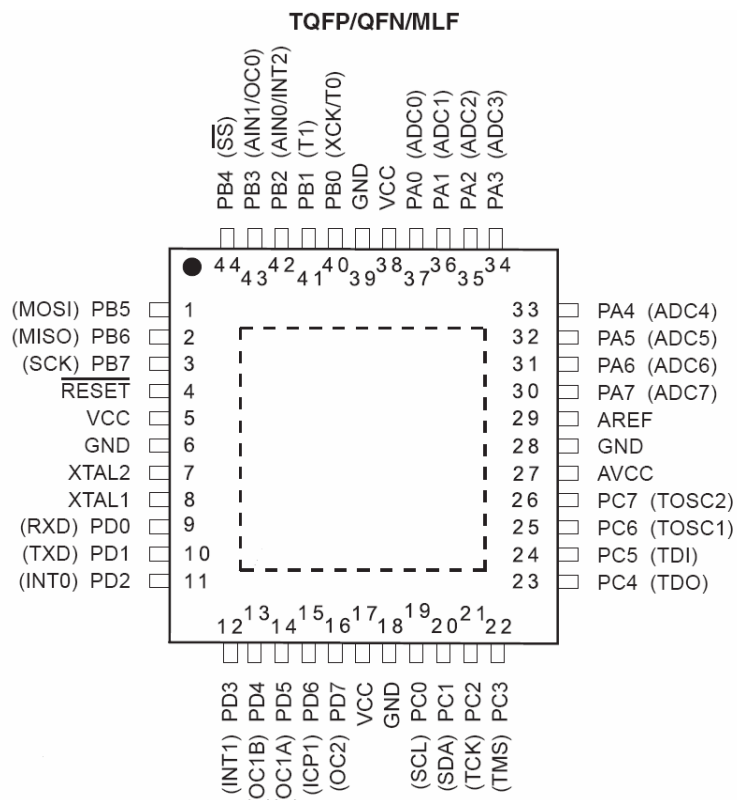
Paměť programu je tvořena zabudovanou Flash pamětí o velikosti 16KB. Podle výrobce je minimální počet přeprogramování 1000 cyklů. Datová paměť typu RAM má kapacitu 1KB, E2PROM má pak kapacitu 512B, počet přeprogramování by měl být až 100 000 cyklů. Paměti Flash a E2PROM jsou programovatelné přímo v systému. Tohoto programování využíváme k programování našeho mikrokontroléru.

Dále v něm nalezneme dva 8-bitové čítače/časovače, jeden dokonalejší 16-bitový čítač/časovač, čtyři PWM kanály, analogový komparátor. Má k dispozici 10-bitový A/D převodník s osmi výstupními kanály. Jedná se o vývody ADC0 až ADC7 (viz. [2]).

Zajímavostí je zabudovaný kalibrovaný RC oscilátor, což znamená, že je schopen samostatné činnosti bez připojení vnějšího piezokeramického rezonátoru (krystalu) na vývody XTAL1 a XTAL2. Relativní odchylka generovaného kmitočtu je při napájení 5V a pokojové teplotě pouze 1%. Pomocí zabudované děličky lze vybrat kmitočty 1, 2, 4 nebo 8 MHz (viz. [1]). V našem případě je nastavena frekvence kmitání na 8 MHz.

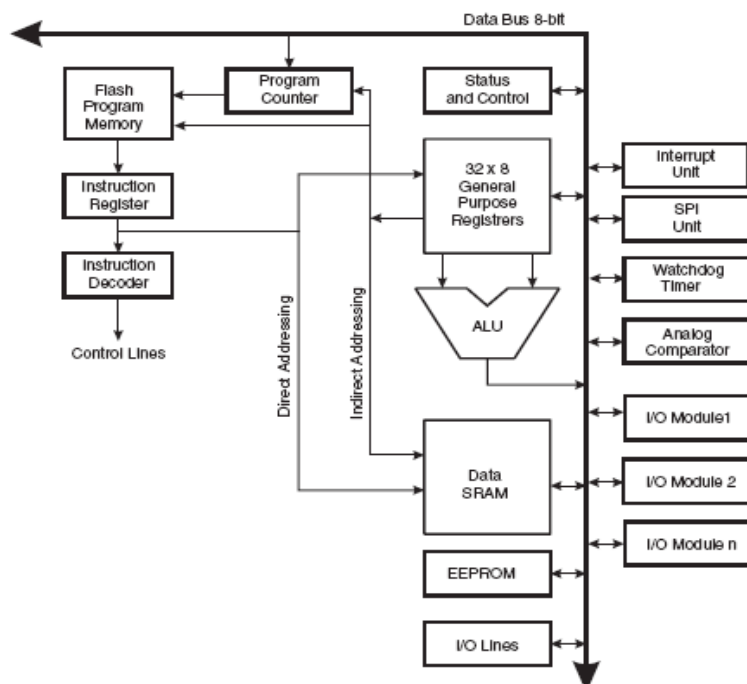
Využíváme provedení SMD, které má typ pouzdra TQFP (vývody na 4 stranách). Na následujícím obrázku (*obr. 2*) můžeme spatřit rozdělení jednotlivých portů a periferii použitého mikrokontroléru ATmega16 v již zmíněném provedení TQFP (viz. [2]). Výrobce těchto obvodů je firma značky ATMEL.

### Rozdělení vývodů:



Obr. 2: Rozložení vývodů pouzdra TQFP mikrokontroléru (viz. [2])

### Vnitřní architektura:



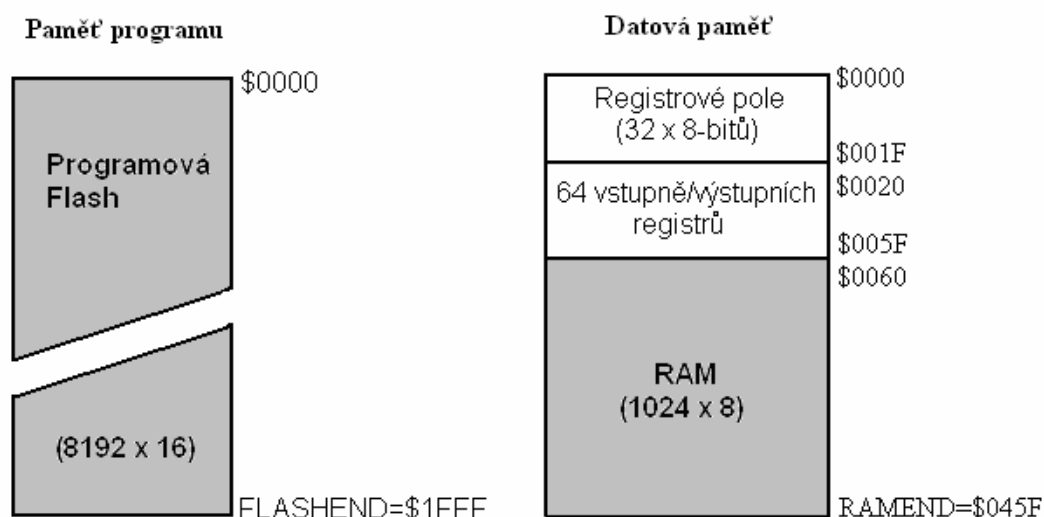
Obr. 3: Vnitřní zjednodušená architektura mikrokontroléru (viz. [2])



### 2.1.1 Rozdělení paměťového prostoru:

#### Vnitřní programová paměť (Flash)

Vnitřní programová paměť je představována programovou Flash. Tato paměť je z hlediska probíhajícího programu adresována po slovech (dvojбайtech). Kapacita paměti programu ATmega16 je 16KB, což představuje 8192 slov. Nejvyšší adresa je pak 8191 (FLASHEND=1\$FFF), viz *obr. 4* (viz. [1])



Obr. 4: Mapa vnitřní paměti u ATmega16 (viz. [1]).

#### Vnitřní datová paměť

Je tvořena statickými buňkami (jsou rychlejší, nepotřebují refresh) paměti architektury SRAM. Z *obr. 4* je zřejmé, že datová paměť začíná blokem 32 bajtů, které odpovídají registrům (R0 až R31). Následuje 64 vstupně/výstupních registrů. Posledním blokem je libovolně použitelná paměť (viz. [1]).

### 2.1.2 Programování mikrokontroléru ATmega16

Mikrokontroléry ATmega16 lze programovat buď klasickým způsobem, kdy je třeba ho programovat v programátoru. Potom ho však musíme vyjmout z programovací patice a vložit do aplikační desky. Tento způsob je velice dnes už nepraktický. Proto zvolíme programování pomocí ISP rozhraní, kde mikrokontrolér programujeme přímo v aplikaci (viz. [1]) využitím jednoduchého zapojení pomocí budiče sběrnice připojeného k LPT portu. Schéma zapojení programátoru nalezneme v přílohách (viz. *příloha 3*). Program vytváříme v aplikaci AVR studio4, jehož programovacím jazykem je jazyk C. Výsledný program je nutné posílat pomocí aplikace PonyProg2000 z důvodů využití našeho programátoru.

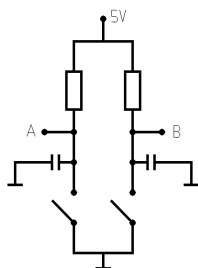
## 2.2 IRC (inkrementální rotační čidlo)

V zapojení funguje jako nastavovací člen. Toto čidlo má funkci „nekonečného otočného potenciometru“ s přesným počtem nastavených kroků na otáčku. Je připojeno k mikrokontroléru dvěma vodiči. Inkrementální rotační čidlo generuje průběhy, které jsou uvedeny na *obr. 6*. Jeden vývod čidla je přiveden na přerušení mikrokontroléru (port PD.2) a druhý je přiveden na jeden libovolný bit portu (v našem případě PD.1) mikrokontroléru.

Tedy pokud dochází k otečení IRC, generuje se průběh, na přerušení nastane sestupná hrana. Program nám skočí do přerušení a vyhodnotí hodnotu bitu, na který je přiveden druhý vývod inkrementálního rotačního čidla. Pokud je na něm logická 1, znamená to že došlo k otoční doprava, neboli inkrementace (zvyšování). Pokud je však na něm logická 0 došlo k otočení doleva, neboli dekrementace (snižování). Před otestováním musí být nastavené zpoždění zhruba na 5ms kvůli zákmitům na čidle. Pokud by toto nebylo ošetřeno může dojít vlivem zákmitů k nevynuceným chybám. Toto nám doporučuje přímo výrobce. Dále je pro lepší a přesnější funkci vhodné připojit na oba vývody kondenzátory o velikosti 100nF, které přivedeme na zem.

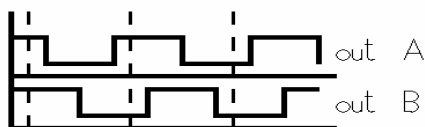
K inkrementálnímu rotačnímu čidlu stačí připojit napájení 5V přes dva odpory 4,7k $\Omega$  podle katalogového listu (lze spatřit na schématu – *obr. 5*), kdy při otáčení dojde ke generování průběhů, které posléze vyhodnocuje mikrokontroler.

### Schéma:



*Obr. 5: Schéma zapojení IRC čidla*

### Průběhy:



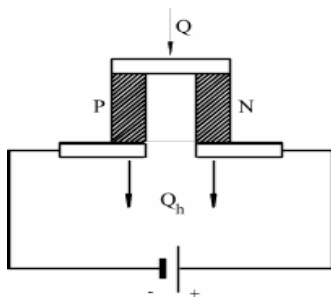
*Obr. 6: Průběhy IRC čidla*

## 2.3 Peltierův článek

Peltierův článek funguje na základě Peltierova jevu, který objevil v roce 1837 Jean C. Peltier. Článek se skládá ze dvou polovodičových tělísek a spojovacího můstku, které zprostředkovávají jednak přívod elektrické energie a jednak absorbování a vyzařování tepla. Když proud prochází obvodem s dvěma rozdílnými vodiči zapojenými do série, kde většinou se jedná o vizmut a tellurid, jedna z jejich styčných ploch se ochlazuje a druhá zahřívá (viz. [6]). Tohoto principu právě využíváme v naší bakalářské práci, pro stabilizaci teploty. Nastavíme teplotu, na kterou chceme stabilizovat. Pomocí mikrokontroléru řídíme právě Peltierův článek, který posléze přepínáme tak, aby topil nebo chladil. Tak dosáhneme požadované teploty.

V našem případě pracujeme poměrně s malými výkony, ale při práci z většími je třeba dbát při ochlazování na dobrý odvod tepla, aby nedošlo ke zničení článku. V našem případě je chlazení řešeno pomocí hliníkového pozlaceného chladiče, na který je článek namontován. S těmito články se nejvíce nyní setkáme v počítačích, kde chladí procesor, či v poměrně se dnes rozšiřujících autochladičkách.

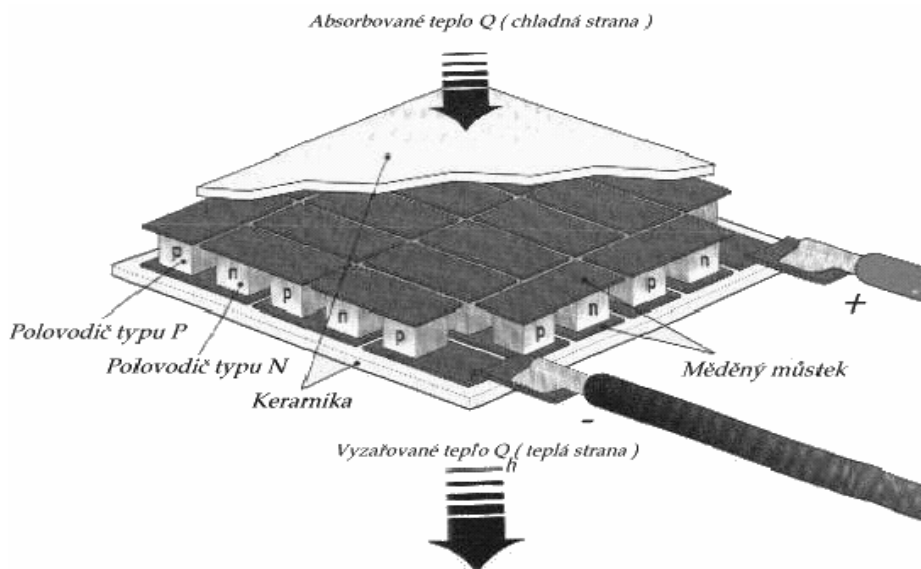
Nedostatkem Peltierových článků je, že mají velkou spotřebu a samy hodně topí, takže je třeba chladit více, než kolik by vyžadovalo samotné chlazené zařízení (prostředí). Na *obr. 7* lze vidět základní zapojení Peltierova článku.



*Obr. 7: Základní zapojení Peltierova článku (viz. [6])*

- Kde     $Q$ ... teplo absorbované  
       $Q_h$ ...teplo vyzařované  
       $P$  ... polovodič s děrovou vodivostí  
       $N$  ...polovodič s elektronovou vodivostí

Na obr. 8 lze vidět bližší vnitřní strukturu článku.



Obr. 8: Vnitřní struktura a uspořádání Peltierova článku (viz. [6])

#### Hlavní znaky Peltierových článků:

- Vyrábějí se v různých velikostech a o různých chladicích parametrech.
- Nejběžněji se setkáme s článkem o čtvercové ploše 10x10 mm až 60x60 mm, v rozmezí šířek 3 až 6 mm. V našem případě jsou rozměry (15x15x3,9)mm
- Vyznačují se chladicím výkonem, který je od desetin do stovek wattů.
- Rozdíl teplot může dosáhnout 60 °C až -82 °C.
- Podle nároků na funkci a mírou použití jsou různě drahé, od stovek korun až do tisíců.

#### Výhody Peltierových článků:

- Na rozdíl od jiných zařízení má velmi malé rozměry.
- Vyznačuje se snadnou regulací
- Nemá žádné pohyblivé a hlučné díly, což znamená, že pracuje naprosto potichu.
- Jeho životnost je velmi dlouhá.

#### Nevýhody:

- V případě potřeby velkého chladicího výkonu je cena poměrně vysoká.
- Nemá moc výraznou účinnost, do 50%

#### 2.3.1 Vlastnosti vybraného článku

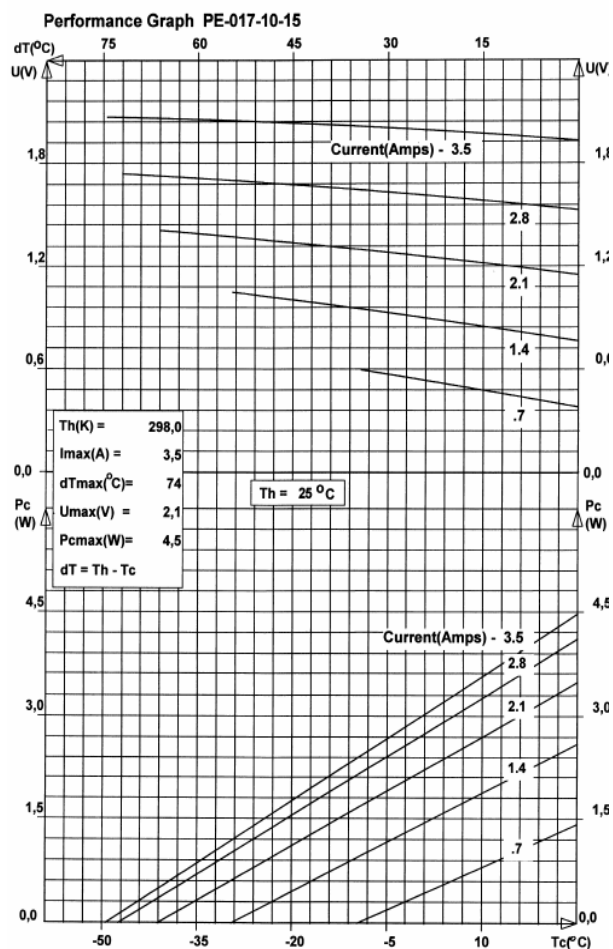
Maximální napětí, které lze nastavit na vstup námi vybraného článku je 2,1V a maximální protékající proud potom 3,5A. Výkon kterým se Peltierův článek vyznačuje je 4,5W. Rozdíl teplot kterých lze dosáhnout je 74°C (viz. [12]).

### 2.3.2 Napájení Peltierova článku

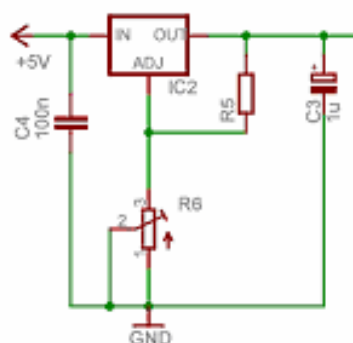
Otázka napájení Peltierova článku je vyřešena jednoduchým zapojením pomocí stabilizátoru s nastavitelným výstupním napětím v rozmezí hodnot napětí 1,2V až 32,0V (viz. [9]). Proudová zatížitelnost je až 5A. Z *obr. 9* lze odečíst maximální napětí na peltierovu článek, které je 2,1V a maximální procházející proud, který je 3,5A (viz. [12]). Právě pomocí zmíněného stabilizátoru a odporového děliče si nastavíme výstupní napětí na požadovanou hodnotu 2,1V (viz. [9]). Je třeba otestovat jak se stabilizátor zahřívá a zdali je nutné navrhnout chladič pro dokonalejší odvod tepla. Stabilizátor se nám zahřívá, proto je namontován na hliníkovém „L“ profilu, jehož jedna plocha je vyvedena mimo krabičku pro lepší odvod tepla. Na následujícím obrázku (*obr. 10*) nalezneme schéma zapojení stabilizátoru s odporovým děličem a kondenzátory (viz. [9]). Při výpočtu odporů vycházíme z rovnice:

$V_{OUT} = 1,250 * (1 + \frac{R_6}{R_5})$ . Hodnota odporu  $R_5$  je zvolena  $1k\Omega$  a trimrem  $R_6$  donastaveno

výstupní napětí na požadovanou hodnotu (2,1V).



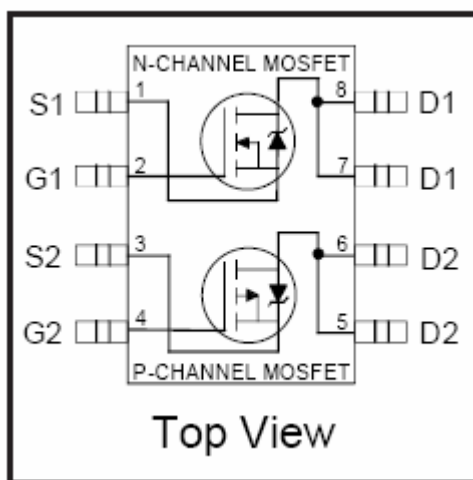
*Obr. 9: Charakteristiky Peltierova článku (viz. [12])*



*Obr. 10: Zapojení stabilizátoru (viz. [9])*

### 2.3.3 Ovládání Peltierova článku

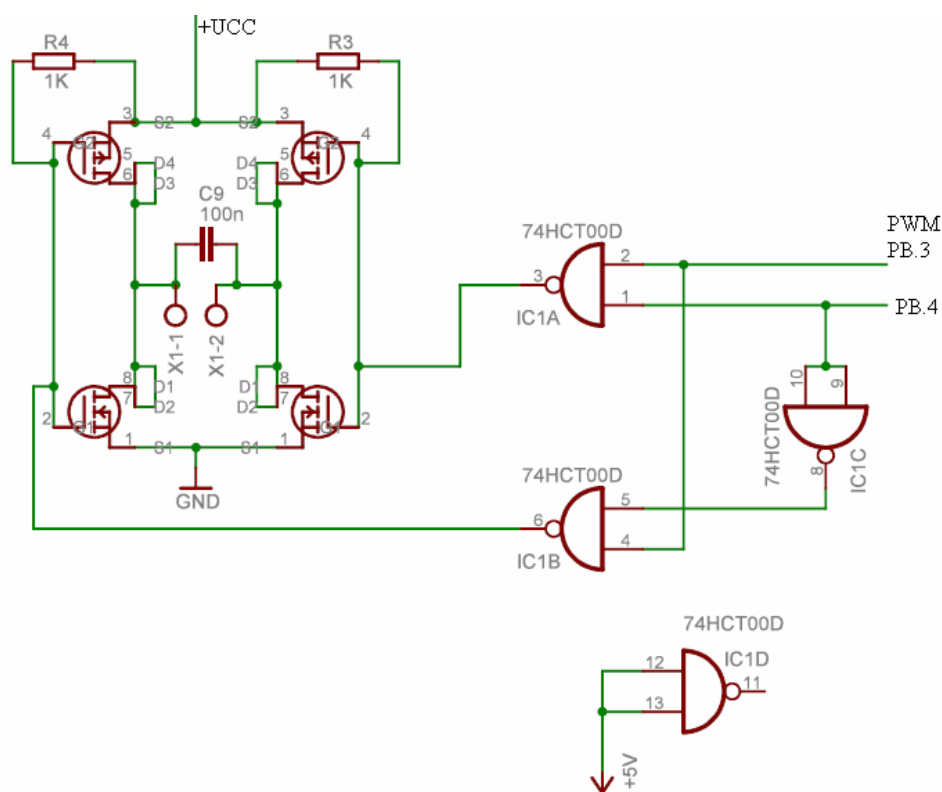
Jedná se o jednoduché zapojení MOSFET tranzistorů do můstku, které ovládají přepínání Peltierova článku tak, aby plnil funkci nastavené teploty. To znamená, že v případě potřeby zde přepínáme mezi módy ohřívání a chlazení podle nastavené teploty. Přepínání je řízeno mikrokontrolárem, pomocí PWM kanálu (pulzně šířkové modulace). Mikrokontrolér také vyhodnocuje teplotu a posílá požadavky pro řízení MOSFET tranzistorů, aby došlo k přesnému nastavení. Mohlo by být použito relé, to však nemá dlouhou životnost jako toto elektronické spínání pomocí MOSFET tranzistorů. Navíc nedochází ke cvakání dojde-li k přepnutí. Je používat obvod, který obsahuje v jednom pouzdře dva MOSFET tranzistory s N a P typem kanálu. Vnitřní zapojení obvodu můžeme vidět na *obr. 11*. Je vybrán SMD obvod IRF7434. Tyto obvody použije dva v zapojení, neboť pro řízení je potřeba čtyř MOSFET tranzistorů, dva N a P typy MOSFET. Zapojení je označováno jako H-Bridge. Tranzistory jsou stavěny na vysoký proud (P kanál 3,5A a N-kanál 4,7A), což nám přímo vyhovuje. Podmínkou je při návrhu desky plošných spojů nezapomenout udělat dostatečně silné vodiče, aby zvládly procházející proud a nedošlo k jejich přepálení při průchodu vyššího proudu (viz. [5]).



*Obr. 11: Vnitřní zapojení obvodu IRF7434 (viz. [5]).*

### 2.3.4 Řízení H-Bridge

Toto řízení je velmi jednoduché. Zvláště, použijeme – li mikrokontrolér ATmega16, který disponuje vývodem s označením OC0 (port PB.3), který má vestavěný generátor PWM. Pomocí tohoto a libovolně zvoleného vývodu přes obyčejná hradla NAND spínáme tranzistory, tak aby plnily přesně danou funkci, viz *obr. 12*. Pomocí PWM ovládáme výkon při topení nebo chlazení.



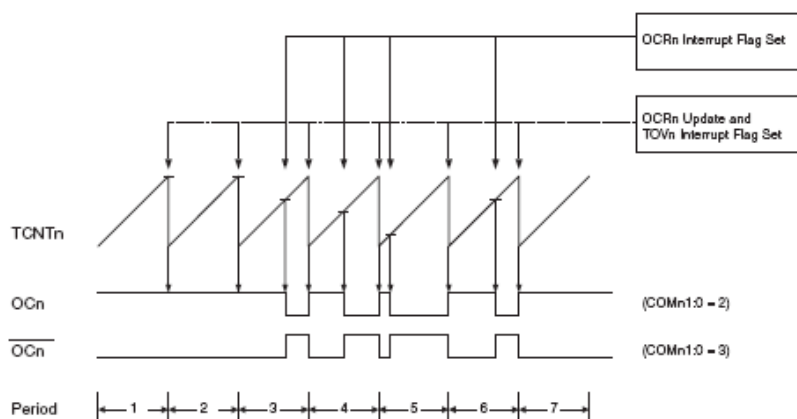
Obr. 12: Připojení řídicích bitů k procesoru

#### Popis funkce:

Důležité je z počátku vědět jakou logickou úrovní jsou jednotlivé typy tranzistorů spínány. Tranzistor s kanálem typu N je spínán úrovní logická 1, tranzistor P typu potom spínán logickou 0. Port PB.3/OC0 generuje průběhy PWM, kde ovládáme výkon otevřených tranzistorů. Pomocí druhého portu PB.4 tedy nastavujeme jak poteče proud přes tranzistory. Přepínáme tedy mezi módy chlazení a topení. Logické úrovně posíláme přes hradla NAND, která vyberou a otevřou (zavřou) MOSFEET tranzistory. Použijeme obvod 74HCT00, který je vybaven čtyřmi hradly NAND. Využíváme pouze třech hradel. U zbylého připojíme oba vstupy na +5V.

### 2.3.5 Rychlý PWM režim

Tento režim zvolíme nastavením v programovém prostředí v registru TCCRO (viz CD s programem). Rychlý PWM režim nám poskytuje generaci vysokorychlostních PWM průběhů. Odlišuje se od ostatních svojí jednofázovou realizací. Jednofázová realizace vede k tomu, že pracovní kmitočet v rychlém PWM režimu je dvakrát vyšší. Čítá vždy ode dna do maxima a po přetečení se vrací opět ke dnu. Je dobře použitelný právě pro regulaci výkonu, kdy jej využíváme pro řízení výkonu Peltierova článku. Časový diagram pro rychlý PWM režim je uveden na *Obr. 13*.



*Obr. 13: Časový diagram rychlého PWM režimu (viz [2] )*



## 2.4 Regulace

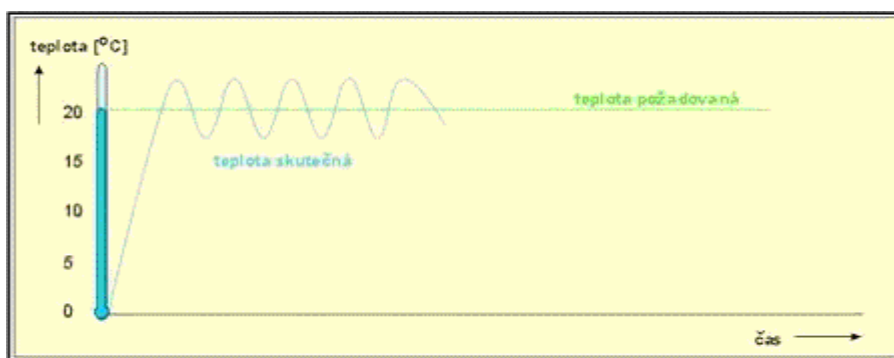
Regulací jako takovou se myslí automatická regulace velikosti fyzikální veličiny, kterou je teplota. Základním principem každé regulace je zpětná vazba. Ta zprostředkuje regulátoru zpětnou informaci o velikosti regulované teploty. Zpětná vazba je realizována pomocí čidla teploty LM35DT. Jde tedy o automatickou regulaci. Regulátor pak získává přes čidlo teploty zpětnou informaci o skutečné velikosti regulované veličiny, tuto hodnotu porovnává s požadovanou hodnotou. Rozdíl těchto hodnot je tzv. regulační odchylka. Pomocí akčního členu se pak snaží docílit přesně požadované hodnoty regulované veličiny.

### 2.4.1 P - Proporcionální složka regulace

Je nejjednodušším typem regulátoru, který pracuje jako zesilovač regulační odchylky. Proporcionální regulátor odečte změřenou teplotu od nastavené, tento rozdíl vynásobí konstantou (tzv. Proporcionální zisk regulátoru). Výsledkem je požadovaný výkon, na jaký se topí. Tedy čím nižší je skutečná teplota oproti požadované, tím vyšší je výkon. Jakmile se začne skutečná teplota blížit k požadované, tím je výkon nižší. Pokud jsou hodnoty totožné výkon je nulový.

Z toho plyne, že chování proporcionálního regulátoru závisí na velikosti konstanty (proporcionálního zisku), kterou násobíme regulační odchylku. Tímto mohou nastat různé případy chování regulované soustavy při nastavení proporcionálního zisku regulátoru:

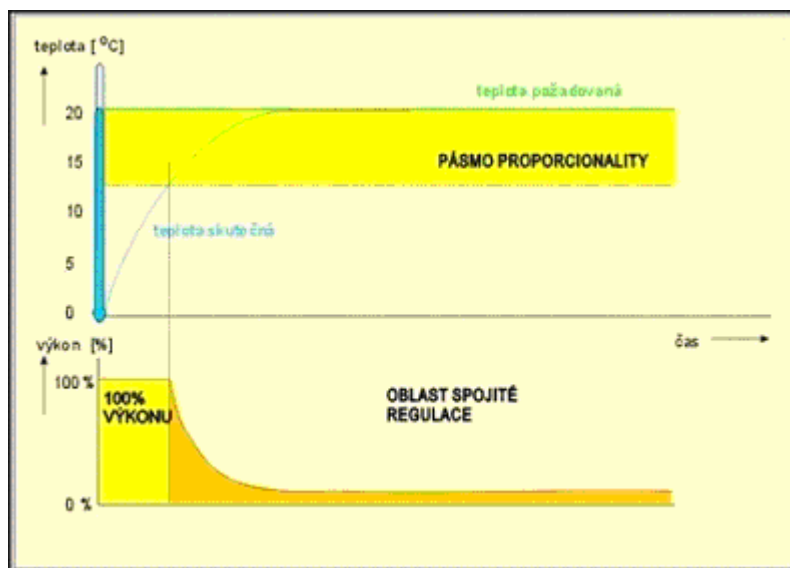
- Pokud je proporcionální zisk regulátoru příliš malý, nikdy není výkon 100 % a není dosažena požadovaná teplota.
- Pokud je naopak proporcionální zisk příliš veliký, při malých odchylkách teploty je vysoký výkon a skutečná teplota nám kmitá okolo požadované teploty.



Obr. 14: Kmitání skutečné teploty okolo požadované

- Při optimálním nastavení proporcionálního zisku na optimální hodnotu, docílíme téměř požadované regulace

Proporcionální zisk regulátoru je nepřímo úměrný šířce tzv. pásma proporcionality. Je to pásmo v okolí požadované hodnoty, ve kterém regulátor ovládá výkon spojitě v rozsahu 0-100 %. Mimo toto pásmo je pak výkon 100 % nebo 0 %.



Obr. 15: Průběhy P regulátoru

#### 2.4.2 I - Integrační složka regulace

Tento regulátor funguje tak, že vynásobí regulační odchylku konstantou a výsledek přičte ke složce určující výkon. Výkon nezávisí pouze na velikosti regulační odchylky, ale také na době trvání této odchylky. Čím delší je doba trvání regulační odchylky a čím pomaleji se snižuje, tím více narůstá výkon. Znamená to, že pokud je měřená teplota nižší než nastavená, integrační složka se zvyšuje. Naopak, když je měřená teplota vyšší než nastavená, integrační složka se snižuje. Čím je regulační odchylka vyšší, tím rychleji se nám integrační složka mění. Článek začne nejprve topit málo, pak se začne výkon zvyšovat, po dosažení nastavené teploty a jejím překročení se začne výkon snižovat. Měřená teplota překmitne okolo nastavené teploty, poté se ustálí. Po ustálení nastaví regulátor právě takový výkon článku, který je právě potřeba pro udržení požadované teploty a krytí tepelných ztrát.

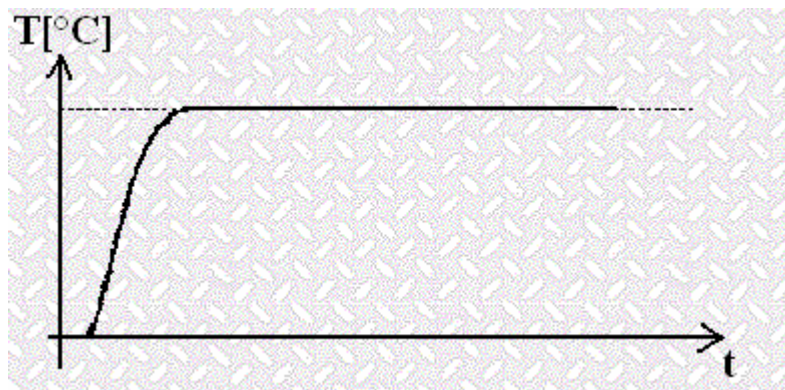
Integrační složka tedy zajistí dosažení nastavené teploty. Jak rychle a s jakými překmity závisí na velikosti násobící konstanty. Integrační složka je tedy opět závislá na velikosti násobící konstanty. Pokud nastavíme konstantu příliš malou, trvá delší dobu než dojde k dosažení nastavené teploty. Pokud je tato konstanta příliš velká, skutečná teplota trvale kmitá okolo nastavené teploty.

### 2.4.3 D - Derivační složka regulace

Derivační regulátor pracuje s rychlostí změny regulační odchylky, tu vynásobí konstantou. Výsledek určuje výkon članku. Když tedy teplota klesá, derivační složka zvyšuje výkon. Naopak stoupá-li teplota, derivační složka výkon članku snižuje. Složka tedy zajišťuje rychlou reakci regulátoru při náhlých změnách regulační odchylky.

### 2.4.4 PID regulace

Spojením tří složek (P-proporcionální, I-integrační, D-derivační složka) vzniká PID regulátor, který odstraňuje trvalou regulační odchylku. Chování PID regulátoru závisí na nastavení jednotlivých složek. Zvětšením proporcionální složky dosáhneme zvětšení zesílení. Zvětšení integrační složky dosáhneme zmenšením integrační časové konstanty. Zvětšení derivační složky dosáhneme zmenšení derivační časové konstanty.



Obr. 16: Správné nastavení konstant PID (viz. [18])

### 2.4.5 Ziegler-Nicholsonova metoda nastavení PID regulátoru

Ziegler-Nicholsonova metoda nastavení PID regulátoru je experimentální metoda, která slouží k nalezení konstant PID. U této metody je výhodou, že nemusíme znát matematický model, neboli přenosovou funkci regulované soustavy. Zde je zpětnovazební soustava tvořena regulátorem a regulovanou soustavou (viz [15]).

**Nyní zbývá nastavit jednotlivé složky, kdy postupujeme následovně:**

- 1) Nejprve nastavíme zesílení složek I a D na nulu. Zesílení složky P nastavíme na „kritickou hodnotu“  $K_c$ , což je hodnota kdy začne soustava kmitat a změříme periodu kmitání  $P_c$ .
- 2) Konstanty příslušných regulátorů dle zvolené ho typu (P, PI, PID) nastavíme dle té to tabulky:

Ziegler–Nichols method			
Control Type	$K_p$	$K_i$	$K_d$
P	$0.5 \cdot K_c$	-	-
PI	$0.45 \cdot K_c$	$1.2 K_p / P_c$	-
PID	$0.6 \cdot K_c$	$2 K_p / P_c$	$K_p P_c / 8$

Tab. 1: Nastavení konstant regulátorů (viz [16] )

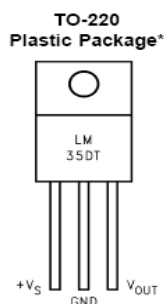
V programovém prostředí při nastavování konstant vycházíme ze vzoru (viz [16])

```
start:
  previous_error = error or 0 if undefined
  error = Setpoint - actual_position
  P = Kp * error
  I = I + Ki * error * dt
  D = (Kd / dt) * (error - previous_error)
  output = P + I + D
  wait(dt)
  goto start
```

Obr. 17: Vzorový zdrojový kód pro nastavení konstant (viz [16] )

## 2.5 Teplotní čidlo LM35DT

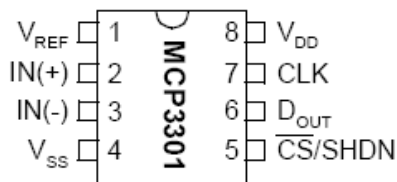
Asi největším problémem bylo vybrat právě teplotní čidlo. Je nutné aby splňovalo zadané podmínky, které jsou, měřit na setiny stupně. Po konzultaci s vedoucím práce je vybráno teplotní čidlo LM35DT. Jedná se o čidlo, které disponuje třemi vývody (UCC, GND a OUT). Toto čidlo je možné zakoupit v různých pouzdrech, nám však nejvíce vyhovuje pouzdro TO-220, které má kovovou plošku, takže jej můžeme dobře umístit. LM35DT je převodník teplota na napětí s tím, že při 0 °C je na výstupu 0 V a se zvyšující teplotou stoupá napětí lineárně podle vzorce 10mV/°C. Připojíme-li tedy jeho výstup na voltmetr, máme při +25 °C na displeji 250 mV a při +100 °C je to přesně 1 V. Maximální nelinearita v celém rozsahu je +0,75 °C. Měřicí rozsah je 0°C až 100°C. Čidlo stačí napájet přímo napájecím napětím 5V. Napájecí napětí se může totiž pohybovat v rozmezí 4 až 30 V. Spotřeba čidla je jen asi 60 uA (viz. [3]).



Obr. 18: Teplotní čidlo LM35DT

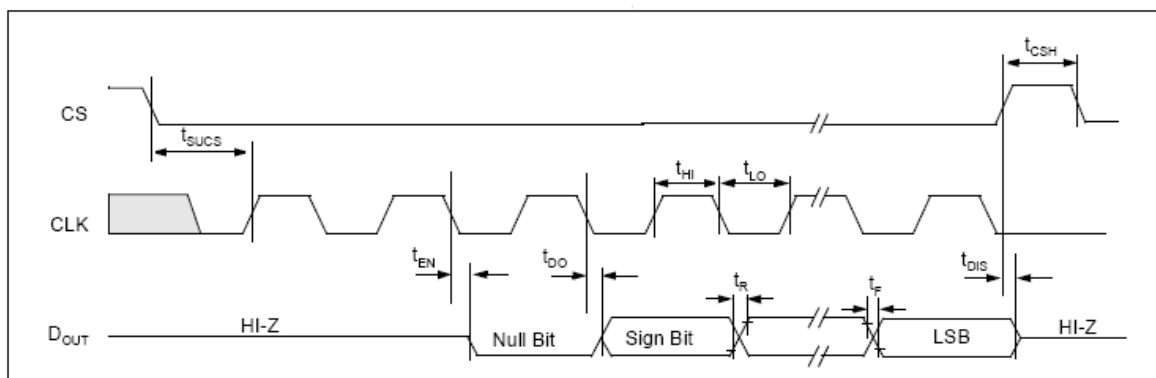
### 2.5.1 A/D převodník

Aby bylo docíleno přesnosti měření teploty na setiny stupně, je nutné zvolit vhodný A/D převodník. Námi vybraný převodník má přesný název MCP3301. Jde o převodník, který obsahuje znaménko (1 bit) a 12bitů pro převod. Jedná se tedy o 13-bitový A/D převodník (viz [14]). Na obrázku (Obr. 19) vidíme rozmístění vývodů. Provedení pouzdra je typu DIL8.



Obr. 19: Rozmístění vývodů A/D převodníku (viz. [14])

Vývody CLK, D<sub>OUT</sub> a CS/SHDN připojíme na libovolné výstupy mikrokontroléru. Je nutné pro správnou funkci v programovém prostředí naprogramovat průběhy pro časování A/D převodníku, podle katalogového listu (datasheet). Průběhy vidíme na následujícím obrázku:

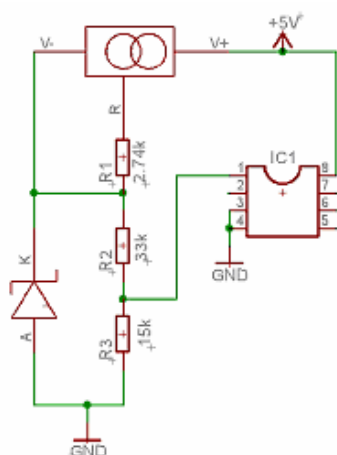


Obr. 20: Průběhy k naprogramování A/D převodníku (viz. [14])

K součástce je nutné připojit na vstup V<sub>REF</sub> referenční napětí. To vytvoříme pomocí součástky s názvem Napěťová reference LM385-2,5, která má na výstupu napětí 2,5V. Nutností pro funkci je připojit k referenci proudový zdroj (viz [13]). Toto výstupní napětí je dost velké. Proto pomocí napěťového děliče si napětí nastavíme na hodnotu 0,78V. To znamená, že maximální měřená teplota je 78°C. Rozsah měřených teplot je tedy 0°C až 78°C, což postačuje. Vypočítané hodnoty odporů jsou R<sub>3</sub>=15KΩ, R<sub>2</sub>=33KΩ. Odporů navrhne podle výpočtu, kde si zvolíme U<sub>X</sub>=0,8V z důvodu že chceme pracovat maximálně do 80°C.

$$U_{OUT} = U_X \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_2} \Rightarrow \frac{U_{OUT}}{U_X} = \frac{R_3}{R_3 + R_2} \Rightarrow \frac{2,5V}{0,8V} = \frac{R_3}{R_3 + R_2} \Rightarrow R_3 = 15K\Omega, R_2 = 33K\Omega$$

Rovnice 1: Výpočet odporů v napěťového děliče



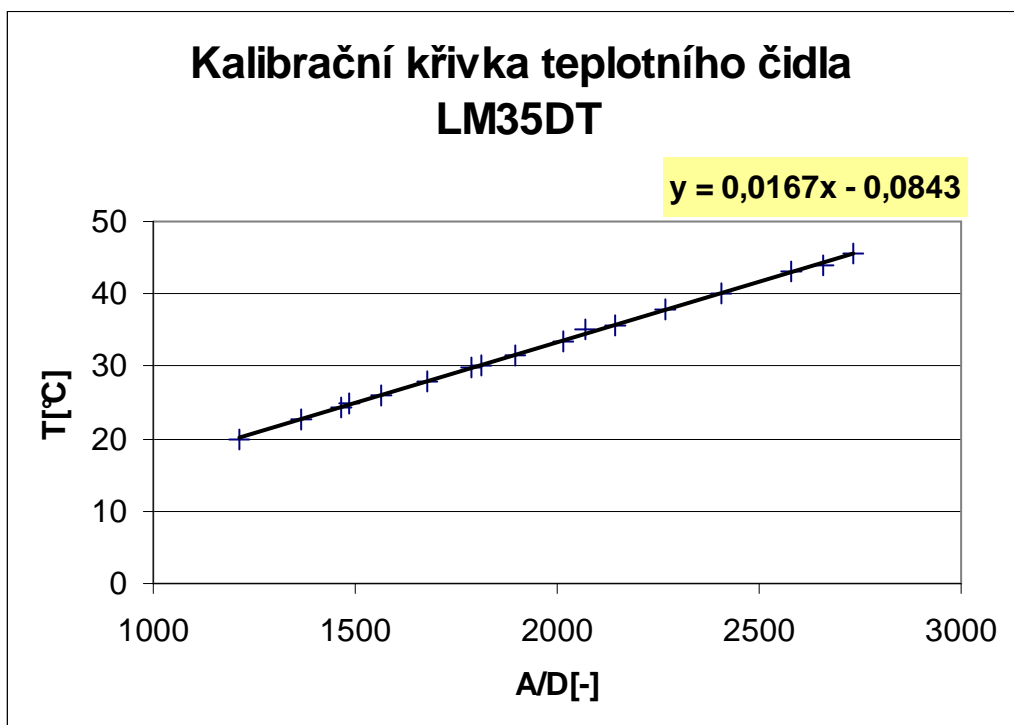
Obr. 21: Připojení napěťové reference k A/D převodníku

## 2.5.2 Kalibrace teplotního čidla LM35DT

Při kalibraci teplotního čidla jsou zjištěny konstanty, pomocí kterých nastavíme lepší přesnost teplotního čidla. Tuto kalibraci provádíme pomocí přesného (referenčního), nejlépe digitálního teploměru, našeho čidla a prostředí, ve kterém měníme teplotu. Byla použita voda, při různých teplotách, potom odečtena hodnota aktuální teploty a hodnota na výstupu A/D převodníku ( $D_{OUT}$ ). Výstupní hodnotu z převodníku zobrazujeme na logickém analyzátoru. Je sestavena tabulka s naměřenými hodnotami. Posléze sestrojen graf, který je proložen křivkou, zjištěna rovnice regrese a zní konstanty. Konstanty využíváme při programování teplotního čidla (kalibrace).

A/D [-]	T[°C]	A/D [-]	T[°C]	A/D [-]	T[°C]
1215	20,2062	1564	26,0345	2145	35,7372
2660	44,3377	1465	24,3812	2267	37,7746
2406	40,0959	1678	27,9383	1365	22,7112
2068	34,4513	1789	29,792	1487	24,7486
1810	30,1427	1896	31,5789	2014	33,5495
2731	45,5234	2578	42,9683	2356	39,2609

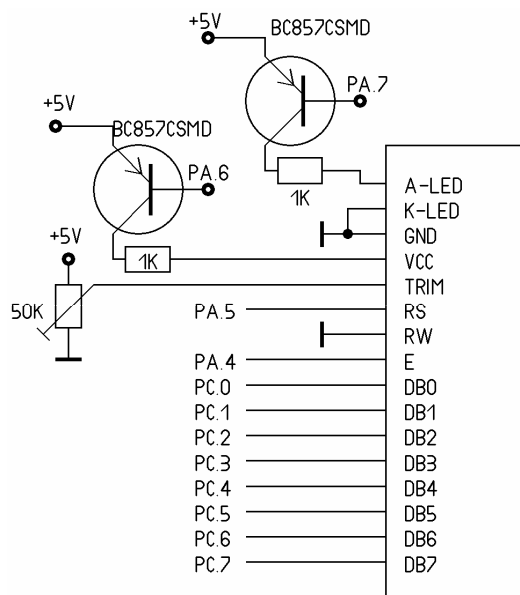
Tab. 2: Naměřené teploty a hodnoty na výstupu A/D převodníku



Obr. 22: Kalibrační křivka teplotního čidla LM35DT

## 2.6. LCD displej

Displej nám slouží k zobrazování veškerých údajů, k zobrazení změřené teploty a k nastavení požadované teploty. Jde o samostatný modul na samostatné desce plošných spojů. Je připojen na porty PA.4 až PA.7 a celý port PC (PC.0 až PC.7) přes 14-ti žilový vodič. Pomocí patice a kabelu komunikuje s hlavní deskou. LCD displej obsahuje řadič a dvouřádkový displej, kde na každém řádku lze zobrazit 16 znaků. Displej je opatřen dvěma řádky. Každý znak je složen z 35 bodů organizovaných do matice 5x8. Znaky, které si lze zobrazit jsou uvedeny v katalogu GM ELEKTRONIC nebo (viz. [8]) a zadávají se pomocí ASCII kódu. Řadič nabízí velké množství funkcí. Po připojení řadiče na napájecí napětí je nutné provést počáteční nastavení řadiče a naprogramovat jeho funkce. Počátečním nastavením řadiče se myslí způsob komunikace čtyřbitové nebo osmibitové. V našem případě je komunikace osmibitová. Dále nastavení počtu řádku (u nás nastavíme dva) a nastavení fontu písma. Programovatelné jsou funkce, pohyb kurzoru vlevo nebo vpravo, posun textu vlevo nebo vpravo, zapnutí, vypnutí nebo blikání kurzoru (je nebo není vidět, viz. [8]). Připojení k portům PA.4 až PA.7 a PC.0 až PC.7 je vidět ve schématu zapojení na **obr. 23**



Obr. 23: Připojení LCD k portům mikrokontroléru



### 2.6.1 Nastavení displeje

#### **Provádíme v podprogramu, uloženém v mikrokontroléru ATmega16:**

- Komunikaci nastavíme na osmibitovou, to znamená, že data nebo instrukce přesouváme všechny naráz. Výhodou je rychlá komunikace.
- Posun kurzoru nastavíme vpravo, to znamená, že po zapsání znaku na určité místo se další znak zapíše hned o jednu pozici doprava.
- Kurzor si vypneme, což znamená, že není vidět.
- Zapneme podsvícení
- Font nastavíme na 5x8, protože toto uspořádání má zvolený připojený displej.

### 2.6.2 Popis řídících bitů LCD displeje

- RS – Register Select, bit PA.5 – je-li RS=0 vysílaný byt je instrukce (smazání displeje, přechod na začátek řádku, přechod na jiný řádek), pokud RS=1 vysílaný byt jsou data, která se zapíší na displej.
- RW – Read / Write, je-li RW=0 jde o zápis, pokud RW=1 jde o čtení. V našem případě pouze zapisujeme, proto RW připojíme na GND (zem).
- E – Enable , bit PA.4 – sestupná hrana na tomto bitu zahájí přenos dat nebo instrukce.
- VDD – přes tranzistor PNP na bit PA.6. Pokud PA.6=1 zapojení napájení řadiče.
- VO – regulace kontrastu, je vhodné připojit na jezdec trimru zapojeného mezi GND a +5V (viz. [8]). Velikost trimru zvolíme na hodnotu 50k $\Omega$ . Ten pak nastavíme na takovou hodnotu, kdy je písmo na LCD displeji dostatečně čitelné.

## 2.7 Napájení zařízení

Zařízení je napájeno adaptérem, který se lze zakoupit v prodejně s elektronikou. Jediným požadavkem je, že musí mít výstupní napětí 5V stejnosměrných, které přivedeme na desku a minimální výstupní proud 3,5A. V našem případě je 5V nastaveno pomocí přepínacího rezistoru. Maximální výstupní proud při napětí 5V je 3,8A.

Je nutno využívat adaptéru z důvodu bezpečnosti a nedostačující kvalifikace provádějícího. Nemůžeme totiž pracovat na desce s přivedeným napětím 230V.



Obr. 24: Foto napájecího adaptéru (viz. [17])

### 3. Popis funkce zařízení

Po připojení napájecího napětí z adaptéru dojde k zapnutí zařízení. Softwarově je nastavena požadovaná teplota na 25°C a jednotlivé regulační konstanty nastaveny ručně, tak aby teplota byla co nejbližší teplotě požadované. Hodnoty byly zjištěny experimentálně. Ihned po zapnutí dojde tedy k regulaci. Pro nalezení nových regulačních konstant je nutné stisknout tlačítko, které obsahuje nastavovací člen.

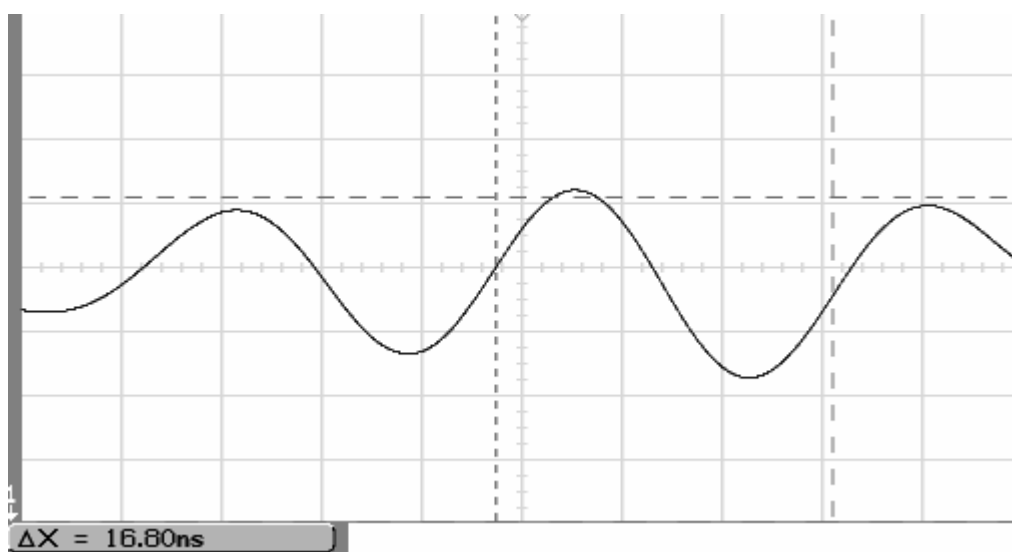
Změnu požadované teploty provádíme nastavovacím členem, kterou měníme otáčením s krokem 0,1°C. Tímto nastavíme požadovanou teplotu na zvolenou velikost. Při otočení dochází ke generování průběhů. Mikrokontrolér tyto průběhy vyhodnotí a zjistí zdali požadovanou teplotu zvyšujeme či snižujeme. Po nastavení stiskneme tlačítko, které nám nalezne nové regulační konstanty.

Pomocí teplotního čidla měříme aktuální teplotu, kterou mikrokontrolér porovnává s požadovanou. Po vyhodnocení teplot mikrokontrolérem nám sepne MOS tranzistory, u kterých ovládá výkon, tak aby regulace proběhla co nejrychleji. Tranzistory nám tedy přepínají napětí na peltierovu článek. Pokud je měřená teplota vyšší než požadovaná přepneme na mód chlazení. Naopak je-li teplota měřená nižší než nastavená, začne peltierův článek topit. Dochází tedy k neustálému porovnávání teplot a k přepínání polarity napětí na vstupu peltierova článku. Tímto docílíme přepínání jednotlivých módů. Požadovanou a změřenou teplotu zobrazujeme na LCD displeji.

Při stisku tlačítka, které obsahuje nastavovací člen dojde k nalezení nových regulačních konstant.

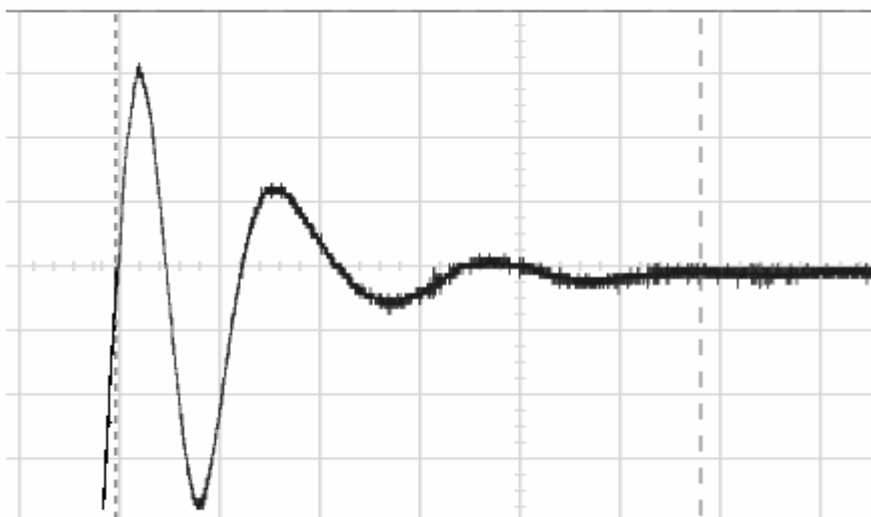
## 4. Výstupní naměřené hodnoty

Nejdříve si nastavíme softwarově regulátor jako proporcionální, kdy po zjištění regulační konstanty  $K_c$ , což je maximální hodnota kdy nám začne měřená teplota kmitat okolo nastavené. Hodnotu  $K_c$  zjistíme stisknutím tlačítka. Po nalezení hodnoty  $K_c$  pomocí osciloskopu změříme její periodu kmitání na výstupu teplotního čidla. Z obrázku vidíme, že perioda je 16,8ns



*Obr. 25: Kmitání teploty - perioda*

Nyní nezbyvá nic jiného než vypočítat jednotlivé konstanty, které jsou softwarově nastavené podle tabulky (viz. [16]). Se zjištění jednotlivých konstant je provedeno měření za jak dlouhou dobu dojde k ustálení nastavené teploty, která je v našem případě nastavena na teplotu 23,7°C. Pro tuto teplotu je měřením zjištěn čas ustálení, jehož velikost je 2min 27s.

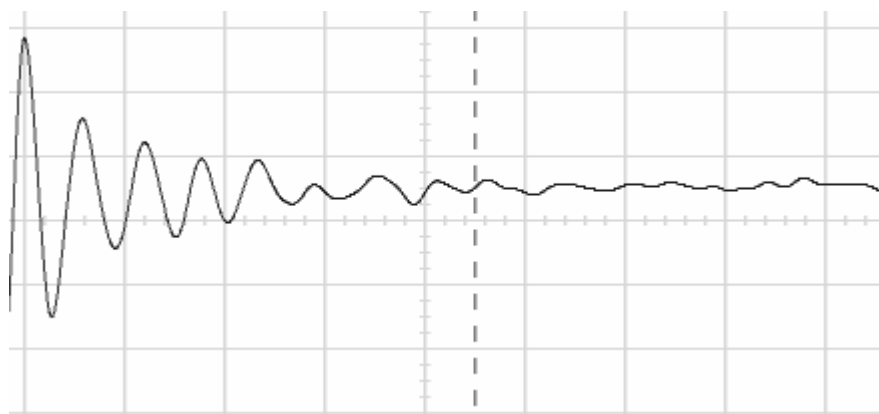


*Obr. 26: Průběh ustálení teploty pro 23,7°C*

Při změně požadované teploty dojde ke zvětšení regulační odchylky, což má za následek že dojde ke zvětšení výkonu. Peltierův článek začne podle potřeby topit či chladit, což vyhodnocuje mikrokontrolér a dojde k regulaci na požadovanou hodnotu. Při přibližování k požadované hodnotě dochází ke zmenšování výkonu. Nové konstanty lze vždy zjistit při stisku tlačítka.

#### **Další měření:**

Měření probíhalo pro teplotu 36,7°C. Byl naměřen čas ustálení, který je 3min 11s.



*Obr. 27: Průběh ustálení teploty pro 36,7°C*

## 5. Závěr

Dokumentace nás seznamuje s vybranými součástkami, deskou plošných spojů, programovým vybavením a měřením výstupních hodnot na téma práce Systém pro stabilizaci teploty za použití odborné literatury a různých aplikačních listů (datasheetů). Popisuje nám vybranou problematiku, funkci jednotlivých vybraných součástek, návrh desek a zapojení součástek, které jsou použity při realizaci celkového zařízení. Po načerpání informací z internetu, v katalogů a knih jsou vybrány čidla, součástky a obvody, z kterých pak je sestaveno základní schéma zapojení.

Schéma zapojení je navrženo v hojně používaném prostředí EAGLE. Zde je také navržena deska plošných spojů. Následovalo vyleptání této desky v laboratoři povrchové montáže na naší fakultě. Po vyleptání následuje osazení součástkami. Jde o kombinovanou povrchovou montáž, kdy převažují SMD součástky.

Po napájení součástek nám vzniklo výsledné „holé“ zařízení. Nyní následovalo testování, kdy pomocí multimetru proměřujeme napětí v jednotlivých uzlech přístroje. Zjišťujeme také zda-li nedošlo při pájení ke spojení vývodů u obvodů či dvou sousedních vodičů na desce plošných spojů.

Po otestování nezbyvalo než se pustit do programování. Nejdříve je sestrojen programátor, pomocí kterého je nahráván vytvořený software do vybraného mikrokontroléru ATmega16, který komunikuje s okolními periferiemi zařízení. Programování je prováděno pomocí ISP rozhraní, jenž nám umožňuje mikrokontrolér programovat přímo v aplikaci. Zdrojový kód je vytvářen v aplikaci AVR studio4, jehož verze je volně ke stažení na stránkách výrobce ATMEL. Programovacím jazykem je jazyk C. Při programování postupně plníme předem námi zvolené kroky, jako jsou například rozsvícení LCD displeje, výpis na LCD displej, nastavení teploty, měření teploty pomocí teplotního čidla, až do konečné podoby jenž je dáno zadáním bakalářské práce.

Sestavené zařízení je napájeno pomocí adaptéru, který má na výstupu stejnosměrné napětí o velikosti 5V. Maximální výstupní proud adaptéru při napětí 5V je 3,8A.

Zkonstruované zařízení je nainstalováno do plastové černé krabičky s vrchním potiskem, jenž je zalamínován v průhledné fólii. Zařízení je zkompletované, nachystané k odevzdání a připraveno k použití. Výsledná práce je určená pro školní využívání.

V budoucnosti by bylo vhodné pokračovat v rozšíření softwarového programu a dalšími praktickými pokusy s modulem. Získané informace by bylo vhodné publikovat například na webových stránkách, či je zpřístupnit zájemcům o tuto problematiku.

## 6. Seznam literatury

- [1] MATOUŠEK, D. *Práce s mikrokontroléry AVR*. BEN-technická literatura, Praha, 2003.
- [2] Aplikační listy mikrokontroléru Atmel Atmega16, Atmel Corporation, 2007, <http://www.datasheetarchive.com/search.php?t=0&q=ATmega16&manysr=&sub.x=0&sub.y=0>
- [3] Aplikační listy teplotního čidla LM35DT, National Semiconductor Corporation, 1999, <http://www.datasheetarchive.com/search.php?search=LM35&sType=part>
- [4] Aplikační listy zapojení H-bridge, National Semiconductor Corporation, 1999, <http://web.mit.edu/rec/datasheets/LMD18200.pdf>
- [5] Aplikační listy smd obvodu IRF7434, International Rectifier, 2004/2005 <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf7343.pdf>
- [6] Internetové stránky Wikipedie, Peltierův článek, 2007, dostupné na [www: http://cs.wikipedia.org/wiki/Peltier%C5%AFv\\_%C4%8DI%C3%A1nek](http://cs.wikipedia.org/wiki/Peltier%C5%AFv_%C4%8DI%C3%A1nek)
- [7] Aplikační listy zapojení LCD displeje, Bona Display Specialist, 2007 <http://www.anglia.com/bona/datasheets/MC1602-13.pdf>
- [8] Internetové stránky Alfanumerické LCD displeje, LCD displej, 2007, dostupné na [www: http://www.cmail.cz/doveda/lcd/](http://www.cmail.cz/doveda/lcd/)
- [9] Aplikační listy stabilizátoru LM338K, SGC-THOMSON Microelectronics, 1994, [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/L/M/3/3/LM338K.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/M/3/3/LM338K.shtml)
- [10] Aplikační listy smd obvodu 74HCT00D, Philips Semiconductors, 2003, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/92517/PHILIPS/74HCT00D.html>
- [11] Internetové stránky HW.CZ, LPT ISP programátor, 2002, dostupné na [www: http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Konstrukce/ART376-LPT-ISP-Prog.html](http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Konstrukce/ART376-LPT-ISP-Prog.html)
- [12] Aplikační listy Peltierova článku, Sepercool AB, dostupné na: [www.supercool.com](http://www.supercool.com)

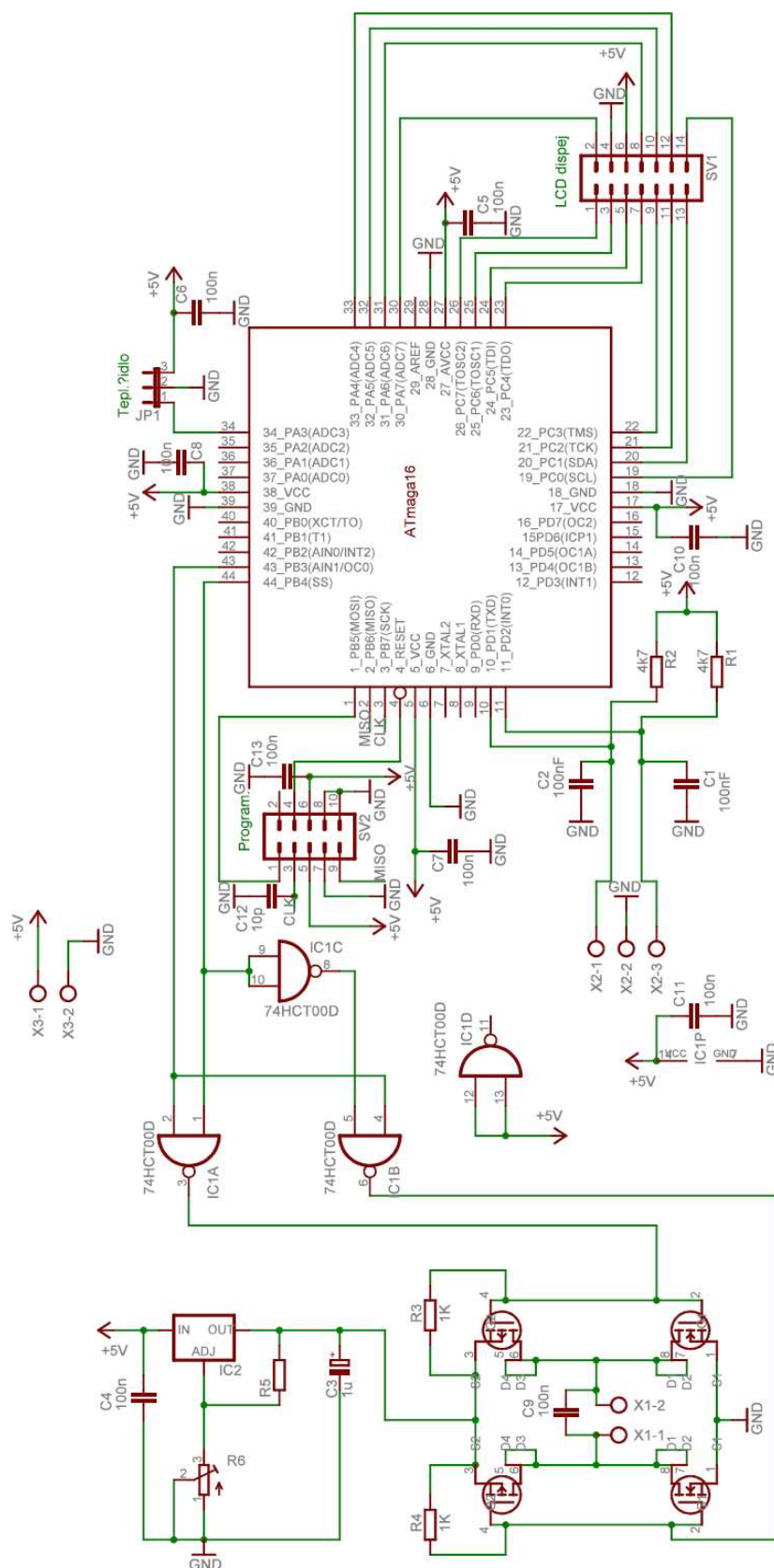
- [13] Aplikační listy napěťové reference LM385-25, Texas Instrument, 2002, [http://www.tranzistoare.ro/datasheets/185/62426\\_DS.pdf](http://www.tranzistoare.ro/datasheets/185/62426_DS.pdf)
- [14] Aplikační listy A/D převodníku MCP3301, Microchip Technology Inc., 2002 [http://gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/320/320-073/dsh.320-073.1.pdf](http://gme.cz/_dokumentace/dokumenty/320/320-073/dsh.320-073.1.pdf)
- [15] SKALICKÝ, J. *Teorie řízení*, VUT Brno - Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky, druhé vydání, Brno, 2002.
- [16] Internetové stránky Wikipedie, PID regulace, 2007, dostupné na [www: http://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller)
- [17] Internetové stránky Wurtz, napájecí adaptér, 2006, dostupné na [www: http://www.wr.dk/shop/tilbehoer/netdele\\_adaptore/ac\\_dc\\_adaptore/adapter\\_oplader\\_stroemforsyning\\_netdel\\_t\\_bla\\_lcd\\_fladskaerme\\_5424\\_da.html](http://www.wr.dk/shop/tilbehoer/netdele_adaptore/ac_dc_adaptore/adapter_oplader_stroemforsyning_netdel_t_bla_lcd_fladskaerme_5424_da.html)
- [18] Internetové stránky Regulace, PID regulace, 2008, dostupné na [www: http://www.mybox.cz/valter/pid.html](http://www.mybox.cz/valter/pid.html)



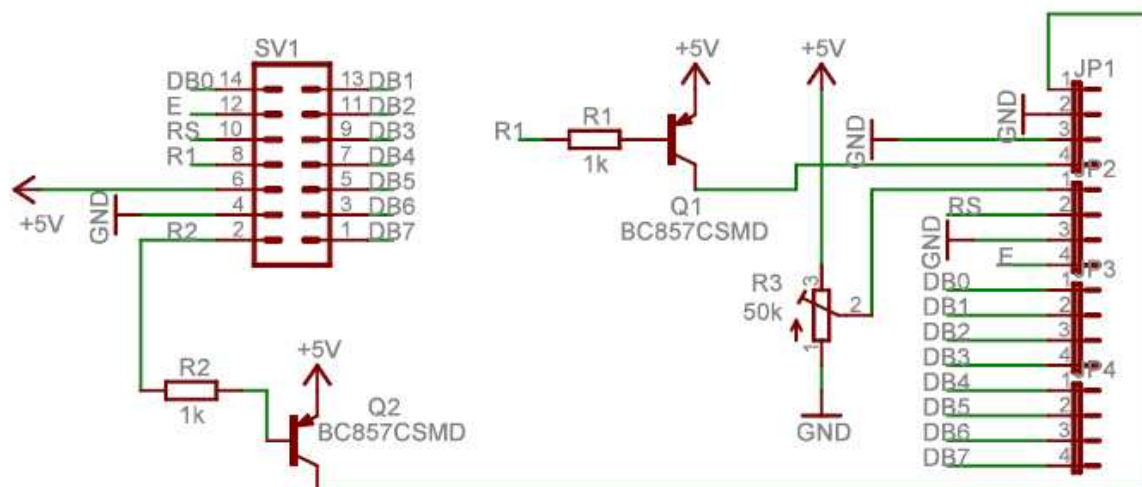
## 7. Seznam příloh

<b>Příloha 1:</b> Schéma zapojení řídicího modulu .....	42
<b>Příloha 2:</b> Schéma zapojení LCD modulu .....	43
<b>Příloha 3:</b> Schéma zapojení ISP LPT programátoru .....	43
<b>Příloha 4:</b> Schéma zapojení A/D převodníku.....	44
<b>Příloha 5:</b> Deska plošných spojů řídicího modulu .....	44
<b>Příloha 6:</b> Deska plošných spojů LCD modulu.....	45
<b>Příloha 7:</b> Deska plošných spojů ISP LPT programátoru .....	45
<b>Příloha 8:</b> Deska plošných spojů A/D převodníku.....	46
<b>Příloha 9:</b> Rozmístění součástek na řídicím modulu.....	46
<b>Příloha 10:</b> Rozmístění součástek na LCD displeji.....	47
<b>Příloha 11:</b> Rozmístění součástek na ISP LPT programátoru.....	47
<b>Příloha 12:</b> Rozmístění součástek na ISP LPT programátoru.....	48
<b>Příloha 13:</b> Fotografie programátoru .....	48
<b>Příloha 14:</b> Fotografie zařízení (uvnitř) .....	49
<b>Příloha 15:</b> Fotografie celkového zařízení .....	49
<b>Příloha 16:</b> Seznam použitých součástek na řídicí modul .....	50
<b>Příloha 17:</b> Seznam použitých součástek na LCD displej .....	50
<b>Příloha 18:</b> Seznam použitých součástek na ISP LPT programátor .....	51
<b>Příloha 19:</b> Seznam použitých součástek pro A/D převodník .....	51
<b>Příloha 20:</b> Vývojový diagram programu .....	52

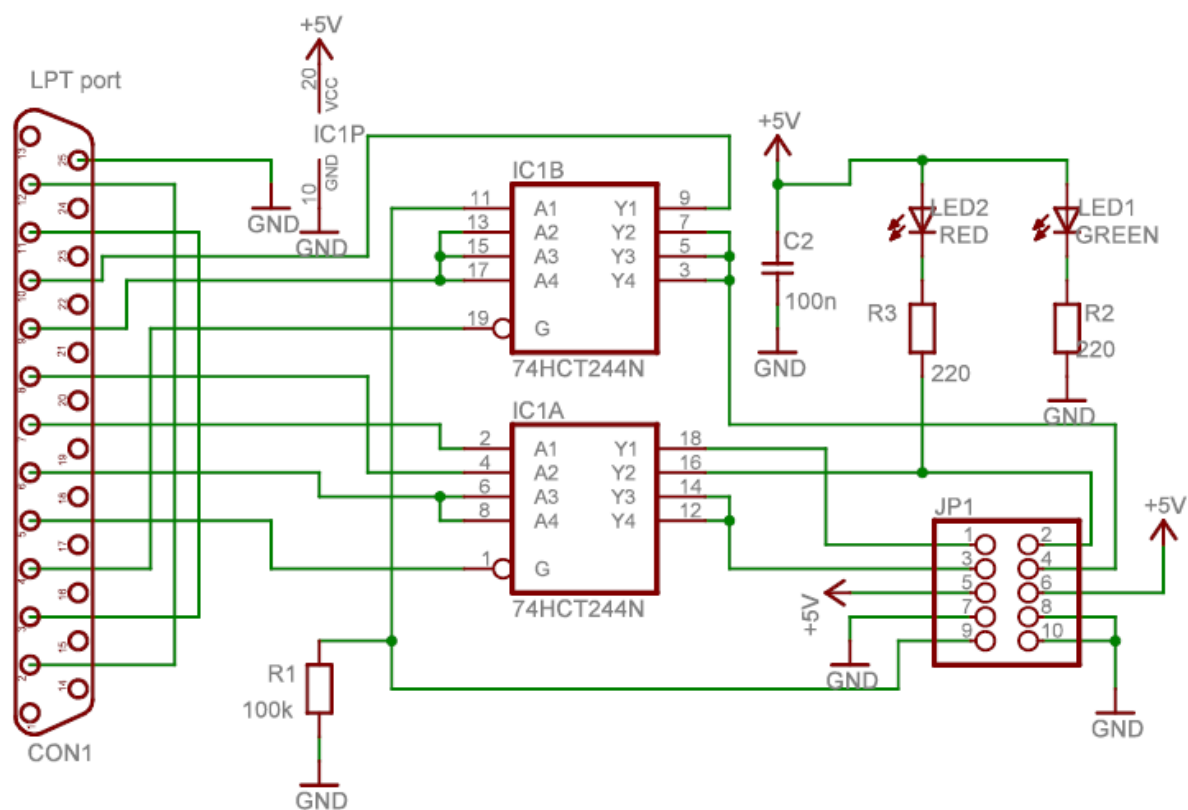
## Příloha 1: Schéma zapojení řídicího modulu



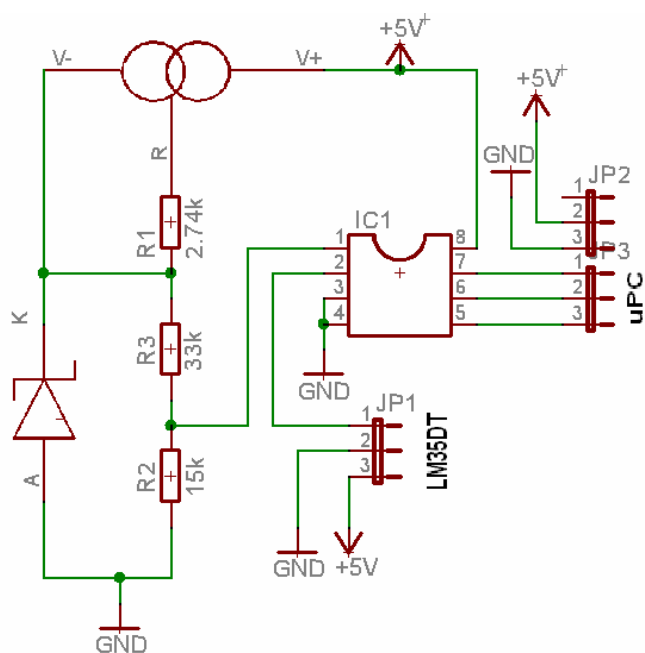
## ***Příloha 2: Schéma zapojení LCD modulu***



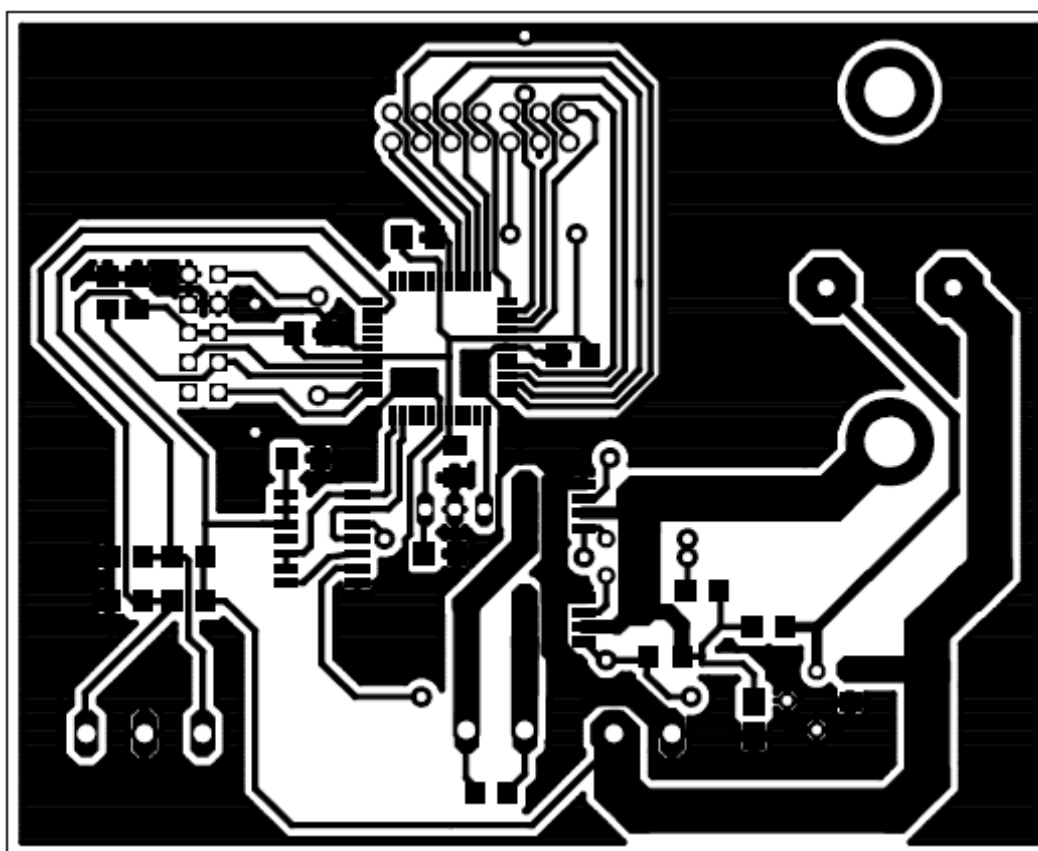
## ***Příloha 3: Schéma zapojení ISP LPT programátoru***



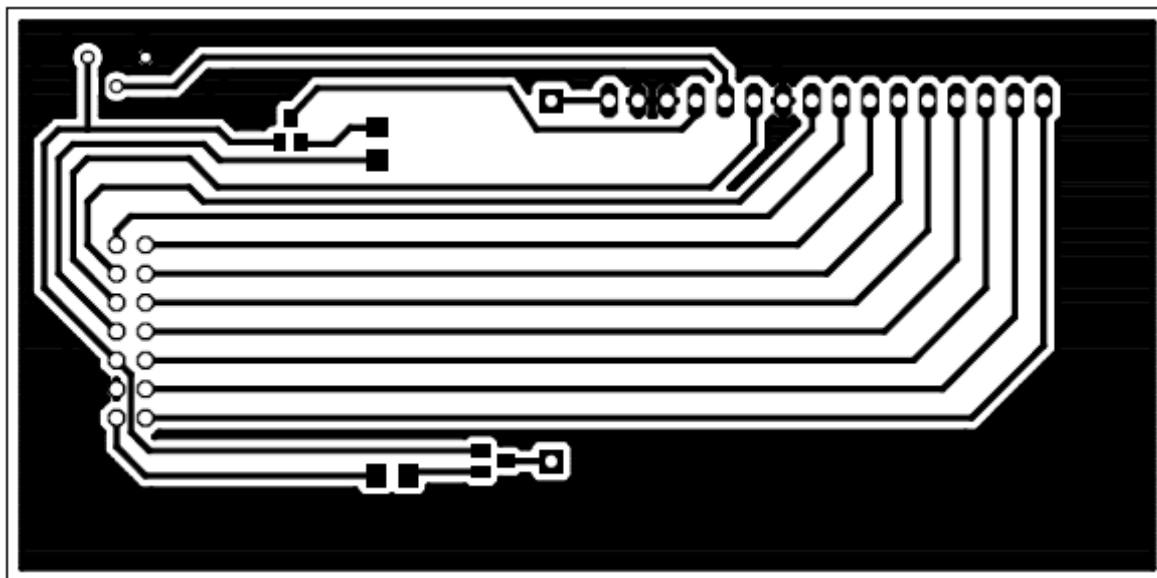
#### ***Příloha 4: Schéma zapojení A/D převodníku***



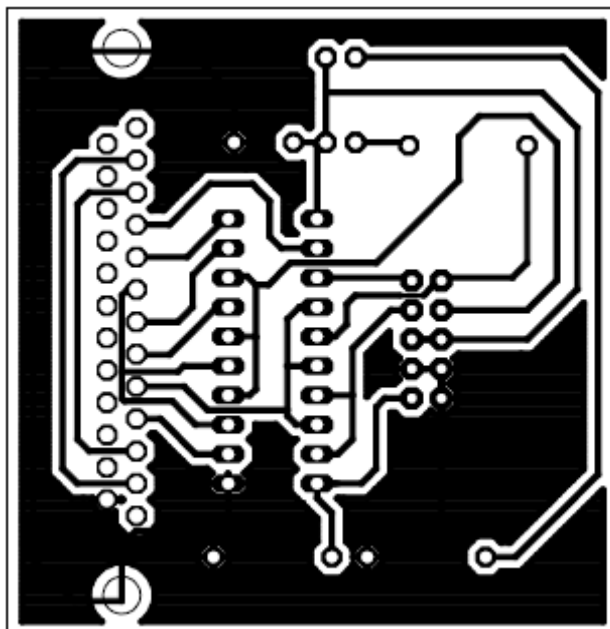
## ***Příloha 5: Deska plošných spojů řídicího modulu***



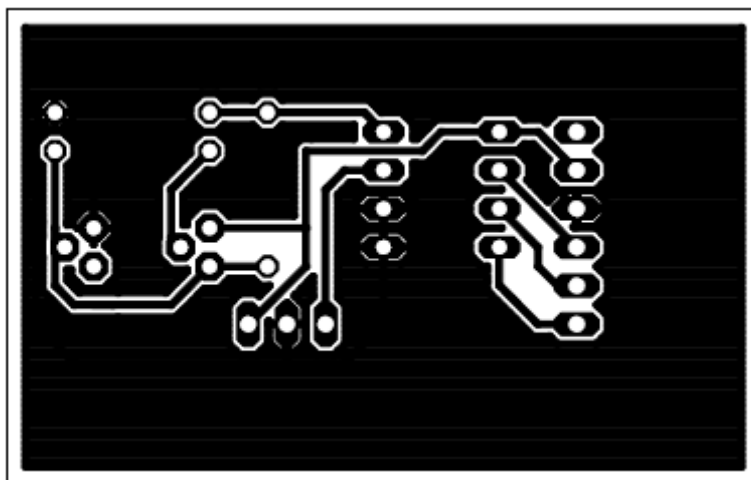
***Příloha 6:*** Deska plošných spojů LCD modulu



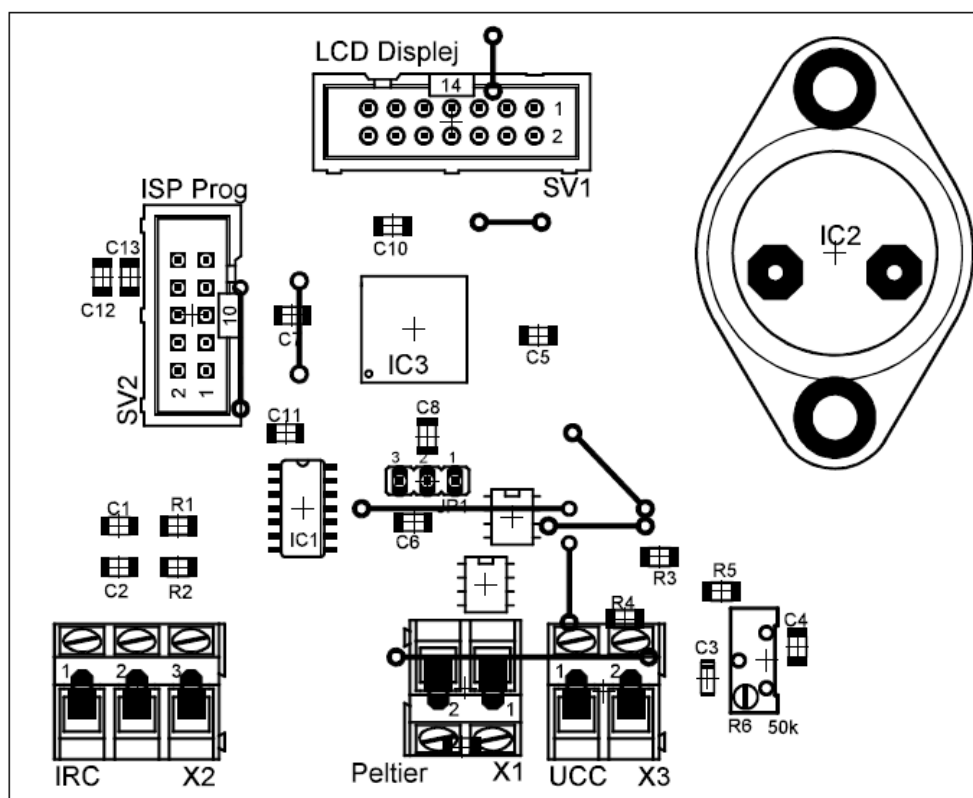
***Příloha 7:*** Deska plošných spojů ISP LPT programátoru



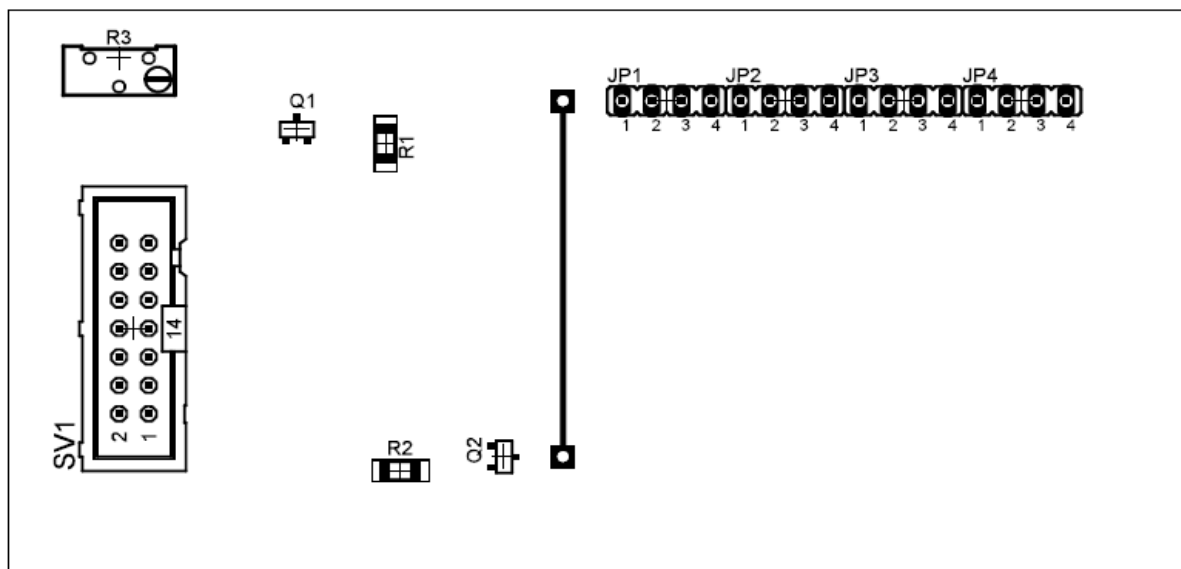
**Příloha 8:** Deska plošných spojů A/D převodníku



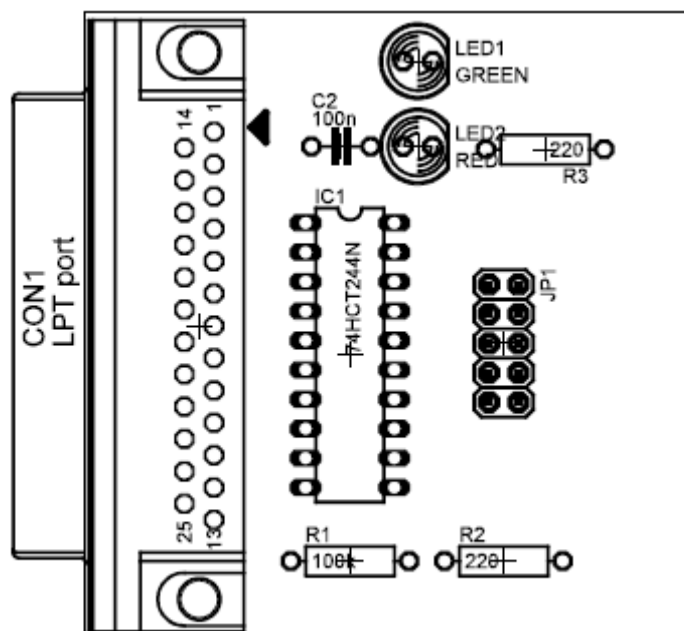
**Příloha 9:** Rozmístění součástek na řídicím modulu



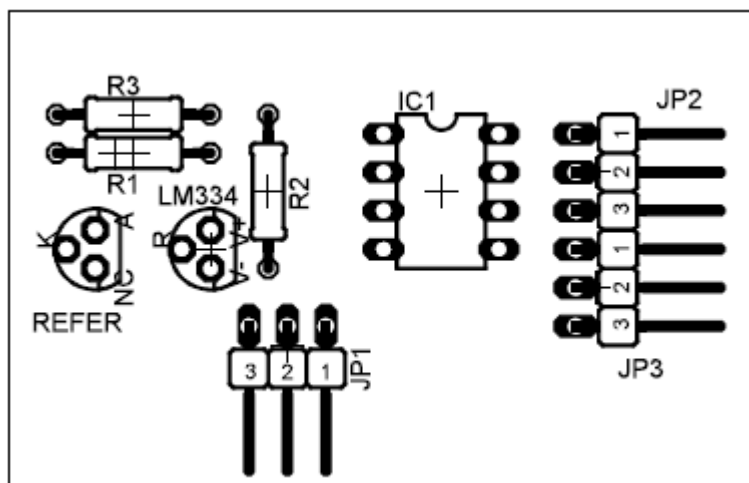
**Příloha 10:** Rozmístění součástek na LCD displeji



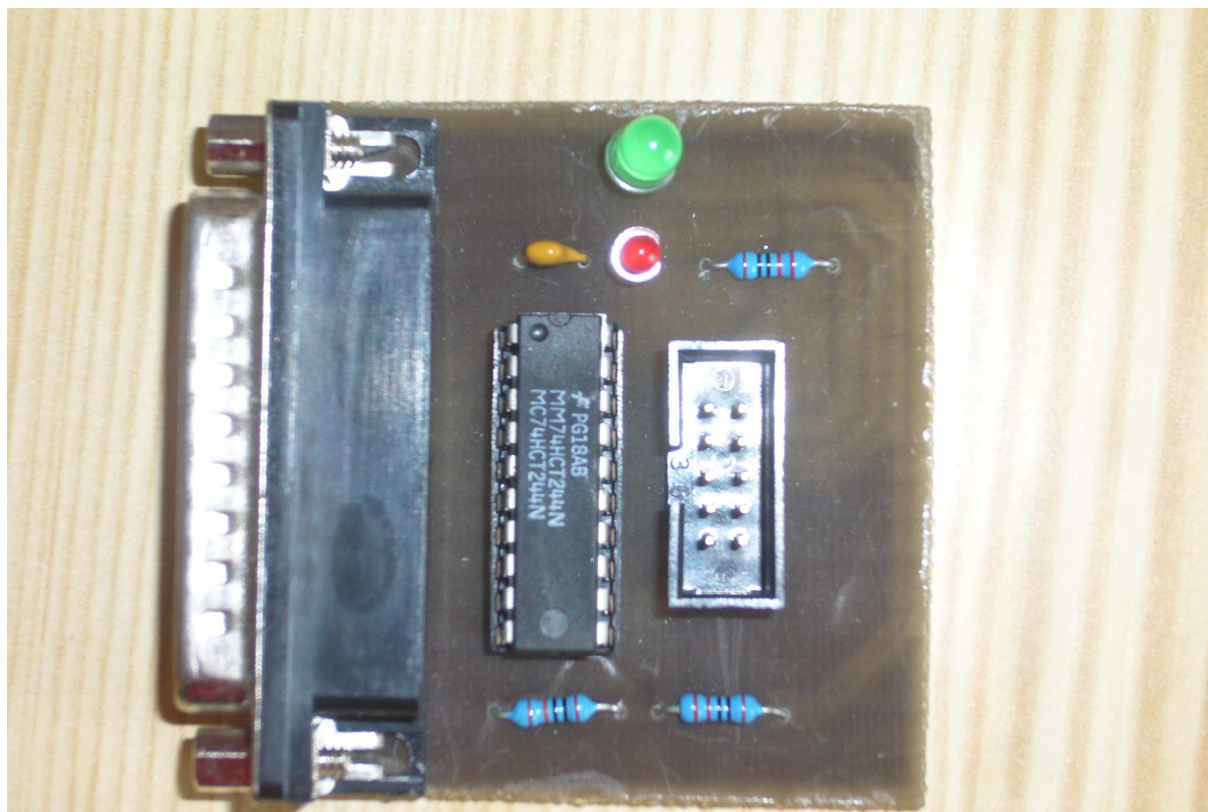
**Příloha 11:** Rozmístění součástek na ISP LPT programátoru



**Příloha 12:** Rozmístění součástek na ISP LPT programátoru

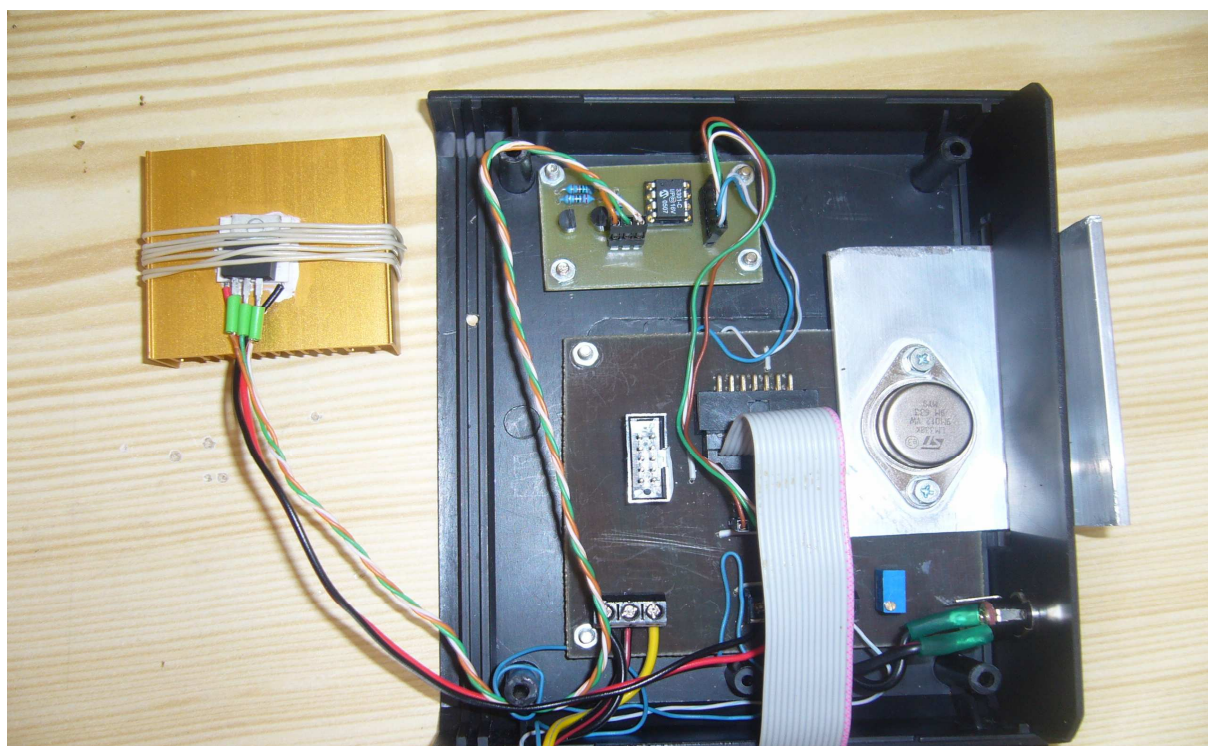


**Příloha 13:** Fotografie programátoru





**Příloha 14:** Fotografie zařízení (uvnitř)



**Příloha 15:** Fotografie celkového zařízení



***Příloha 16: Seznam použitých součástek na řídicí modul***

<b><i>Označení</i></b>	<b><i>typ</i></b>	<b><i>provedení</i></b>
<u>Kondenzátory:</u>		
C1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,13	100n	smd 1206
C3	1u	smd 1206
C12	22n	smd 1206
<u>Integrované obvody:</u>		
IC1	74HCT00D	SO14
IC2	LM338K	TO3
IC3	ATMEGA16	TQFP
IC4,5	IRF7343	smd IRF7343
JP1	JP3E	JP-20
<u>Rezistory:</u>		
R1,2	4k7	smd 1206
R3,4	1K	smd 1206
R5	20K	smd 1206
R6	50k	RTRIM64Y
<u>Svorkovnice:</u>		
SV1	ML14	ML14
SV2	ML10	ML10
X1,3	AK300/2	AK300/2
X2	AK300/3	AK300/3

***Příloha 17: Seznam použitý součástek na LCD displej***

<b><i>Označení</i></b>	<b><i>typ</i></b>	<b><i>provedení</i></b>
<u>Rezistory:</u>		
R1,2	1k	smd 1206
R3	50k	RTRIM64Y
<u>LCD:</u>		
LCD	MC1602E-SBL/H	
<u>Tranzistory:</u>		
Q1,2	BC857CSMD	BC857CSMD SOT23
<u>Konektory:</u>		
JP1	JP20E	JP20
SV1	ML14	ML14

***Příloha 18: Seznam použitých součástek na ISP LPT programátor***

<b><i>Označení</i></b>	<b><i>typ</i></b>	<b><i>provedení</i></b>
<u>Rezistory:</u>		
R1	100k	R-10
R2,3	220	R-10
<u>Kondenzátory:</u>		
C1	100n	CAPNP-5
<u>LED diody:</u>		
LED1	GREEN	LED5MM
LED2	RED	LED5MM
<u>Integrované obvody:</u>		
IC1	74HCT244N	DIL20
<u>Konektory:</u>		
CON1	LPT port	D-25M/90
JP1	PINHD-2X5	2X05

***Příloha 19: Seznam použitých součástek pro A/D převodník***

<b><i>Označení</i></b>	<b><i>typ</i></b>	<b><i>provedení</i></b>
<u>Rezistory:</u>		
R1	2.74k	R-10
R2	33k	R-10
R3	15k	R-10
<u>Integrované obvody:</u>		
IC1	MCP3301	DIL8
IC2	LM385-2,5	TO92
IC3	LM334 (REFER)	TO92
<u>Konektory:</u>		
JP1, JP2, JP3	JP2W	JP-20

**Příloha 20:** Vývojový diagram programu

